



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VIIVI VÄRPIÖ
SISÄISEN LAADUN KEHITTÄMINEN SUURIVOLYYMISESSA
TUOTANNOSSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Miia Martinsuo
ja assistant professor Essi Sarlin.
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 9. marraskuuta
2016

TIIVISTELMÄ

Viivi Värpiö: Sisäisen laadun kehittäminen suurivolyymisessa tuotannossa

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 75 sivua

Maaliskuu 2017

Materiaalitekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Polymeerit ja biomateriaalit

Tarkastaja: professori Miia Martinsuo

2. tarkastaja: assistant professor Essi Sarlin

Avainsanat: DMAIC, elintarvikepakkaus, laatu, Lean, lämpömuovaus, Six Sigma, tiedonkeruu

Työ koskee suurivolyymisen tuotannon laadunhallintaa ja erityisesti sisäisen laadun kehittämistä. Suurivolyymisen tuotannon haasteita ovat muun muassa linjojen automaatio, sekä laadun tarkistus satunnaisilla näytteillä. Huono sisäinen laatu aiheuttaa paljon lisätyötä ja kustannuksia. Sen vaikutuksia asiakkaaseen ovat muun muassa mahdollinen toimitusaikojen venyminen, sekä huonon laadun kulkeutuminen loppuasiakkaalle asti.

Tämän diplomityön tarkoituksena oli kehittää elintarvikepakkauksia valmistavan yrityksen sisäistä laatua ja sen hallintaa. Sisäisessä laadussa oli paljon ongelmia erityisesti pikareita valmistavilla muotoilulinjoilla, joten tutkimus keskittyi näiden linjojen toimintaan. Laadusta kerättävä tieto ja sen jako olivat puutteellisia, mikä vaikutti ongelmien paikantamista ja korjaavien toimenpiteiden kohdistamista oikeisiin toimintoihin.

Tutkimuksen aikana kerättiin kaikki mahdollinen tieto tutkittavista pikarilinjosta ja erityisesti niiden laadusta. Kerättyä dataa analysoitiin ja etsittiin syitä huonolle laadulle yhdessä tuotannon työntekijöistä kootun tiimin kanssa. Löydetyille ongelman aiheuttajille suunniteltiin vastatoimia, joista osa ehdittiin toteuttaa tämän työn puitteissa. Toisena osa-alueena oli tiedonkulun parantaminen sisäisen laadun osalta. Työn aikana huomattiin, että tuotannosta kerättävän tiedon puutteellisuus nousi isommaksi ongelmaksi kuin alussa osattiin kuvitella. Tuotannon sähköisen tiedonkeruujärjestelmän hukan laskennan ja lajittelun raportointia kehitettiin paremman datan saavuttamiseksi tulevaisuudessa. Myös laatuhavaintojen kirjaamista muutettiin, jotta niissä näkyvä tieto olisi helpommin saatavilla ja vastaavanlaisten parannusprojektien aloittaminen olisi jatkossa helpompaa.

Sähköisen tiedonkeruun muutoksen myötä kehitettiin pilotti sähköisestä visuaalisesta laatumittarista pikarilinjolle. Tiimin kanssa suunniteltuja vastatoimia sisäisen laadun parantamiseksi tullaan ottamaan käyttöön käytännössä, jonka jälkeen mahdollisten parantuneiden tulosten tulisi näkyä uudessa laatumittarissa. Tämän työn jälkeen kohdeyrityksellä on paremmat keinot sisäisen laadun kehittämiseen sen kaikilla linjaryhmillä.

Työ osoittaa kerätyn tiedon tärkeyden suurivolyymisessa tuotannossa. Kun jokaista tuotetta ei ole yksitellen mahdollista tarkistaa, täytyy laadunhallinnan perustua tilastoihin. Datan keräämisessä on tärkeää löytää juuri omalle tuotannolle oleelliset mittaushaasteet. Myös muoto, jossa tiedot kerätään ja jälkeenpäin jaetaan, on erittäin tärkeä käytettävyyden kannalta.

ABSTRACT

Viivi Värpiö: Development of in-process quality at high volume production

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 75 pages

March 2017

Master's Degree Program in Materials Science

Major: Polymers and Biomaterials

Examiner: Professor Miia Martinsuo

2nd examiner: Assistant Professor Essi Sarlin

Keywords: data collection, DMAIC, food packaging Lean, Six Sigma, thermoforming, quality

This study is about quality management at high volume production and especially in-process quality. Challenges in high volume production are for example automation of the production lines and quality check with random samples. Bad in-process quality causes more work and expenses. It possibly affects the customer with extended delivery times and bad quality end-products.

The purpose of this thesis was to improve in-process quality and its control in a company manufacturing food packaging. There was lot of problems in a quality between facilities, especially dairy cups manufacturing lines. That is why this research focuses on operation of those lines. Information about quality was collected and shared poorly. Which made determination of problems and corrective actions hard to focus were needed.

All the needed information about quality on focused lines was collected for this research. Collected data was analyzed by the team consisting of people working in the lines and production management. Team found reasons for bad quality and planned countermeasure actions. Some of the actions were implemented during this study. The other objective of this study was to improve the flow of information about in-process quality. During the research we discovered that the main problem was in data collection about production. Data collection system of the company was improved in part of waste calculation and separation. Also collection of quality observations was improved and better data will be available in the future.

After improvement of data collection system, the pilot of information technology indicator of operations could be developed for cup manufacturing lines. In the future these improvements help the case company to solve problems in their in-process quality.

This study shows how important data collection is at high volume production. When it is impossible to check quality of every product your quality management has to be based on statistics. It is important to find right objects to measure at your own production system. Also format of your data is very important for future sharing and applications.

ALKUSANAT

Matkani Tampereen teknillisellä yliopistolla on tullut päätökseensä ja haluan kiittää kaikkia tähän taipaleeseen osallistuneita. Oppien lisäksi mukaan jää monta varmasti elinikäistä ystävää.

Diplomityön tekeminen osoittautui lopulta mukavammaksi prosessiksi kuin olisin ikinä osannut kuvitella. Syinä siihen on ainakin todella mielenkiintoinen aihe, hyvät ohjaajat, sekä samassa tilanteessa olevien ystävien vertaistuki. Kuusi kuukautta kului erittäin nopeasti ja kuuden vuoden opit näkyivät vihdoinkin käytännössä.

Haluan myös kiittää kaikkia kohdeyrityksen henkilöitä, joiden kanssa olin tekemisessä diplomityöni aikana. Koin itseni hyvin tervetulleeksi työympäristöönne ja sain paljon arvokkaita neuvoja, jotka muistan varmasti vielä tämän projektin jälkeenkin.

Tampereella, 21.3.2017

Viivi Värpiö

SISÄLLYSLUETTELO

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | JOHDANTO | 1 |
| 1.1 | Kohdeyritys | 2 |
| 1.2 | Sisäisen laadun ongelmat yrityksessä | 2 |
| 1.3 | Työn tavoitteet ja rajaukset | 3 |
| 1.4 | Tutkimuksessa käytetyt menetelmät | 4 |
| 1.5 | Työn rakenne | 5 |
| 2. | KIRJALLISUUSKATSAUS | 6 |
| 2.1 | Laatu, sisäinen laatu ja laadun kehittäminen..... | 6 |
| 2.2 | Lean-ajattelu ja Six Sigma tuotannon laadun kehittämisessä | 7 |
| 2.3 | Juurisyyanalyysi laatuongelmien syiden tunnistamisessa..... | 12 |
| 2.4 | Laatuongelmien analysoinnin prosessi Six Sigmassa | 13 |
| 2.5 | Aiempi tutkimus suurivolyymisen tuotannon laadusta | 16 |
| 3. | TUOTANNON TOIMINTA KOHDEYRITYKSESSÄ..... | 20 |
| 3.1 | Materiaalit ja tuotteet | 21 |
| 3.2 | Ekstruusio..... | 23 |
| 3.3 | Lämpömuovaus | 24 |
| 3.4 | Dekorointiosasto..... | 25 |
| 3.5 | Henkilöstö koneilla | 26 |
| 3.6 | Laadunvalvonta | 26 |
| 3.7 | Muut avustavat toiminnot | 28 |
| 4. | ONGELMIEN MÄÄRITTELY (DEFINE) | 29 |
| 4.1 | Tiedonkeruu | 30 |
| 4.2 | Laadun tiedonjako | 31 |
| 4.3 | Huonot puolivalmiit | 31 |
| 4.4 | Ongelmien yhteenveto..... | 33 |
| 5. | LÄHTÖTILAN MITTAUS (MEASURE)..... | 34 |
| 5.1 | Laatuhavainnot | 34 |
| 5.1.1 | Koneet | 34 |
| 5.1.2 | Tuotemallit..... | 37 |
| 5.1.3 | Vikatyypit..... | 38 |
| 5.2 | Viallisten puolivalmiiden määrä | 41 |
| 5.3 | Linjojen seisakit | 43 |
| 5.4 | Mittausten yhteenveto | 46 |
| 6. | ONGELMIEN ANALYSOINTI (ANALYZE) | 47 |
| 6.1 | Tiedonkeruun kehityssuunnitelma | 47 |
| 6.1.1 | Hukan määrän tarkennus..... | 47 |
| 6.1.2 | Hukan jaottelu aiheuttajan mukaan..... | 48 |
| 6.2 | Laadun tiedonjaon kehityssuunnitelma..... | 50 |

| | | |
|-------|--|----|
| 6.3 | Kohdeyrityksen ongelmaratkaisumenetelmä ja puolivalmiiden pikarien laatuvirheiden analyysi | 51 |
| 6.4 | Syy-seuraus-kaavio ja toimintasuunnitelma..... | 56 |
| 6.5 | Analyyysin tulosten yhteenveto | 59 |
| 7. | TOIMINNAN KEHITTÄMINEN (IMPROVE) | 60 |
| 7.1 | Tiedonkeruun parannus ja sähköinen visuaalinen mittari | 60 |
| 7.2 | Laatuhavaintojen raportoinnin parannus | 62 |
| 7.3 | Tuotannon toimintatapojen kehitysehdotukset | 63 |
| 7.3.1 | Tuntikohtaisten näytteiden kerääminen | 63 |
| 7.3.2 | Komentointi puolivalmiiden laatikkoon | 64 |
| 7.3.3 | Viallisten tuotteiden poisto varastosta | 64 |
| 7.3.4 | Puolivalmisvaraston ohjaus..... | 65 |
| 7.4 | Toiminnan kehittämisen yhteenveto | 67 |
| 8. | TULOKSET JA YLLÄPITO (CONTROL) | 68 |
| 8.1 | Sähköiset visuaaliset mittarit..... | 68 |
| 8.2 | Laadunvalvonnan kehitys pikarilinjoilla..... | 70 |
| 9. | POHDINTA JA PÄÄTTELY | 71 |
| 9.1 | Tulosten tarkastelu ja tavoitteiden saavuttaminen | 71 |
| 9.2 | Suosituksat jatkotoimenpiteiksi..... | 72 |
| 9.3 | Tutkimuksen arviointi | 72 |
| | LÄHTEET..... | 73 |

LYHENTEET JA MERKINNÄT

| | |
|------------|--|
| DMAIC | Define, Measure, Analyze, Improve, Control |
| EVOH | Etyleenivinyylialkoholi |
| PDCA-malli | Plan, Do, Check, Act |
| PET | Polyetyleenitereftalaatti |
| PL 1-3 | Pikarilinja 1-3 |
| PP | Polypropeeni |
| PP 1-5 | Pikaripainokone 1-5 |
| PS | Polystyreeni |
| TPM | Total Productive Maintenance |
| TPS | Toyota Production System |
| VRK | Variation Reduction Kaizen |
| YP 1 ja 2 | Yhdistelmäpakkauskone 1 ja 2 |

1. JOHDANTO

Laatu on joukko tuotteen ominaisuuksia, jotka vaikuttavat sen kykyyn täyttää asetetut vaatimukset. Laadun käsite on ollut olemassa jo niin kauan, kun myytäviä tuotteita on valmistettu. Kehittyneempi tapa valvoa laatua kehittyi 1950-luvun puolivälissä. Laadun ja prosessin valvonta muuttui tilastolliseksi, kun alettiin ottaa toistuvia näytteitä ja määrittämään tuotteen ominaisuuksien keskimääräiset mitat ja vaihtelu. Aikojen saatossa kuluttajista on tullut tietoisempia tuotteiden laadun ja hinnan suhteen. Yritykset ovat yhä enemmän alkaneet keskittyä koko tuotantojärjestelmänsä toimintaan, jotta saadaan laadukkaita tuotteita mahdollisimman pienillä kustannuksilla. (Marlin 2014).

Ihanteellista olisi, jos voitaisiin varmistaa jokaisen tuotteen laatu ja näin välttää virheellisten tuotteiden päätyminen asiakkaalle. Tämä työ kohdistuu tuotantoon, jossa valmistetaan isolla volyymilla standardoituja tuotteita. Tällaisessa tuotannossa ei ole rahallisesti eikä ajallisesti järkevää tarkistaa jokaisen tuotteen laatua. Myös tuotteen käyttötarkoitus vaikuttaa laatutarkastusten tiheyden tärkeyteen. Esimerkiksi ihmisen terveyden kannalta kriittisissä tuotteissa, kuten sydämentahdistimissa, jokaisen kappaleen tarkastaminen on välttämätöntä. Toinen ääripää on edulliset ja ei vaaraa aiheuttavat tuotteet, kuten tässä työssä käsiteltävät elintarvikepakkaukset. Niiden valmistuksessa tärkeintä ovat tehokkuus ja alhaiset kustannukset. (Furman 2015).

Suurivolyymisessa tuotannossa toiminnan kehittämiseen voidaan ottaa mallia Lean-ajatusmaailmasta, joka on syntynyt japanilaisen *Toyota Production Systemin* (TPS) periaatteiden pohjalta 1990-luvulla. Leanin perusajatuksena on hukan vähentäminen, jolla pyritään kaikkien asiakkaalle arvoa tuottamattomien toimintojen poistamiseen toimintaketjussa (Womack *et al.* 1991). Leanin lisäksi tämä työ pohjautuu Six Sigman toiminnankehitysmenetelmiin. Six Sigmassa perusajatuksena on prosessin vikojen vähentäminen ja laadun jatkuva parantaminen (Karjalainen 2002). Tähän tutkimukseen otetaan vaikutteita näistä molemmista periaatteista ja menetelmistä, ja tällöin voidaan puhua Lean Six Sigmasta.

Yrityksen laadun kehittämisessä ja hukan vähentämisessä oleellista on sisäinen laatu. On tärkeää keskittyä myös sisäisten toimintojen väliseen laatuun, eikä ainoastaan lopputuotteen laatuun. Huonosta sisäisestä laadusta aiheutuu paljon etenkin tuotteiden uudelleen prosessointia ja lisätyötä. Sisäinen laatu vaikuttaa suoraan myös lopputuotteen laatuun, joten sitä parantamalla saadaan todennäköisemmin parempia tuotteita myös loppuasiakkaalle.

1.1 Kohdeyritys

Työn kohteena on elintarvikepakkauksia kovamuovista valmistava yritys, joka kuuluu kansainväliseen konserniin. Suomessa on yksi tehdas, jossa yhteenlaskettu henkilöstömäärä on noin 200. Suurin osa tuotannosta menee kotimaisille yrityksille, mutta yrityksellä on myös ulkomaisia asiakkaita.

Nykyinen tehdas on aloittanut toimintansa vuonna 2013. Nykyiset tilat jakautuvat kolmeen eri osaan: levyn ekstruusioon, lämpömuovaukseen ja dekorointiosastoon. Suurimmalla osalla tuotteista nämä toiminnot tapahtuvat erillään toisistaan ja puolivalmis tuote tai levyrulla siirtyy vaiheesta toiseen automatisoidulla kuljetuksella tai trukilla. Kuitenkin joillakin linjoilla, esimerkiksi ekstruusio ja lämpömuovaus, ovat samassa tuotantolinjassa. Tehtaassa on paljon automatisoituja toimintoja, kuten lopputuotteiden pakkaus ja puolivalmiiden tuotteiden varastointi. Automaation taso vaihtelee linjakohteisesti, ja joillakin linjoilla vielä pakataan tuotteita käsin.

Yrityksen asiakkaita ovat elintarvikeyritykset esimerkiksi lihanjalostuksessa ja meijerteollisuudessa. Tuotteita valmistetaan erätuotantona tilausten mukaisesti. Tehtaalla ei ole omaa lopputuotevarastoa, vaan valmiit tuotteet siirtyvät suoraan samassa rakennuksessa sijaitsevan kuljetusyrityksen tiloihin.

1.2 Sisäisen laadun ongelmat yrityksessä

Yrityksen sisäisen laadun hallinnassa on havaittu ongelmia. Tässä työssä sisäisellä laadulla tarkoitetaan eri työvaiheiden välillä liikkuvien puolivalmiiden tuotteiden laatua. Kuten lämpömuovauksesta painatukseen siirtyvien puolivalmiiden pikarien laatua. Paino-osasto toimii tällöin lämpömuovausosaston sisäisenä asiakkaana. Laatua tarkkaillaan jokaisessa tuotannon vaiheessa, mutta silti huonoa laatua kulkeutuu vaiheesta toiseen liian paljon. Kun huonoa laatua pääsee prosessivaiheesta toiseen, se aiheuttaa paljon lisätyötä, kuten esimerkiksi käsin valikoimista tai linjan pysähtymisen. Huonolaatuista puolivalmiista tuotteista aiheutunutta hukkaa ei erotella linjan omasta hukasta. Näin ollen ei saada tietoa muodonan aiheuttamasta ja painon aiheuttamasta todellisesta hukkamäärästä. Mahdolliset ongelmakohdat on vaikea havaita, koska ei tiedetä missä hukan aiheuttavat laatuvirheet syntyvät.

Sisäisen laadun ongelmia on tehtaassa useita. Tiedonkulku koneiden välillä ei ole tarpeeksi sujuvaa tai sitä ei ole lainkaan. Sähköisellä tiedonkeruulla kerätty tieto hukan määrästä on epätarkkaa ja hukkaa ei jaotella sen aiheuttaneen syyn perusteella. Jos koneelta syntyy paljon hukkaa, ei tiedetä mihin toimintoihin tulisi puuttua. Olemassa oleva laatua kuvaava mittari muodostuu linjoilla tehtävistä laatuhavainnoista. Havainnot eivät kuitenkaan kerro huonolaatuisten tuotteiden määrää. Sisäiselle laadulle ei ole olemassa seurattavaa mittaria, josta voisi seurata sen vaihtelua pidemmällä aikavälillä.

Keskusteltuamme tuotannosta vastaavien henkilöiden kanssa, päädyimme valitsemaan

tutkimuksen kohteeksi ne linjatyypit, joiden välillä esitettyä ongelmaa havaitaan eniten. Kyseessä on jogurtti- ja viilipikareita valmistavat koneet, sekä pikareiden painatus. Pikarilinjailta puolivalmiit tuotteet siirtyvät kuljetushihnaa pitkin automaattivarastoon, josta ne siirtyvät tarpeen mukaan painokoneille. Laaduntarkastusrutiineista huolimatta pikarikoneilta päätyy puolivalmisvarastoon suuria määriä viallisia tuotteita. Tuotteet saattavat olla pitkäänkin varastossa, koska käyttöönotto toimii *First In Firsts Out* –periaatteella (FIFO). Tämän takia vialliset tuotteet saatetaan huomata vasta viikkojenkin kuluttua valmistuksesta. Pitkästä varastoinnista johtuen on vaikea antaa kohdistettua palautetta vialliset puolivalmiit pikarit valmistaneelle koneelle.

Entisellä tehtaalla pikarikone ja painokone olivat peräkkäin, jolloin virheet puolivalmiissa huomattiin painokoneella heti ja ilmoitettiin pikarikoneelle. Tarvittavat säädöt ja korjaukset saatiin tehtyä välittömästi, joten viallisia puolivalmiita valmistui hyvin vähän. Sisäisen laadun hallinta ei ole kehittynyt tarpeeksi uusissa erillisissä tiloissa ja varastolla jaetun tuotantotavan vaatimusten mukaiseksi.

1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on kehittää sisäistä laadunhallintaa ja sen tiedonkulkua kohdeyrityksessä. Kehitetään sisäisen laadun tiedonkeräystä ja –jakoa niin, että sisäisen laadun tilanne tuotannon aikana olisi helposti nähtävissä ja datasta voitaisiin etsiä syitä ongelmille. Kun tuotannonaikainen laadunhallinta paranee, saadaan parempaa laatua ja hukka vähenee. Tiedonkulun kehittämisen lisäksi tarkastellaan valittujen tuotantolinjojen toimintaa tarkemmin. Tarkoituksena on etsiä juurisyitä esitetyille ongelmille ja toteuttaa mahdollisia kehitystoimenpiteitä, sekä seurata niiden vaikutuksia valittuihin mittareihin. Tiedonkulun kehityksen seurauksena ongelmien havaitseminen ja vastaavalaisten kehitysprojektien toteuttaminen muille linjoille tulisi olla tulevaisuudessa vähemmän työlästä.

Tässä työssä pyritään kehittämään tuotannon sähköistä tiedonkeruuta tarkemman ja informatiivisemman datan aikaan saamiseksi. Kerätyn tiedon tulisi olla informatiivista auttaa tuotantoon liittyvässä ongelmanratkaisussa. Tieto pitäisi olla helposti saatavilla ja käsiteltävissä muodossa. Työssä pohditaan, miten tuotannon sisäistä laatua saataisiin parannettua, eli seuraavaan työvaiheeseen päätyisi mahdollisimman vähän huonolaatuisia puolivalmiita tuotteita. Ylimääräinen työ ja vastuu lopputuotteen hyvästä laadusta ei saisi kasaantua painokoneen henkilöstölle.

Työ rajataan tiettyihin koneryhmiin, pikarikoneisiin ja dekorointiosastoon, johon kuuluvat painokoneet ja kartonkisia etikettejä yhdistelmäpakkauksiin liimaavat koneet. Jotkin tämän tutkimuksen osa-alueet vaikuttavat suoraan myös muihinkin koneisiin, kuten tiedonkeruun kehittäminen. Työtä tehdään sillä ajatuksella, että tulokset olisivat myöhemmin sovellettavissa muillekin linjaryhmille, kuten rasia ja kansikoneille.

1.4 Tutkimuksessa käytetyt menetelmät

Tutkimuksen menetelmät jakautuvat toimintatutkimukseen ja kerättyyn dataan. Toimintatutkimukseen kuuluu tuotannon toiminnan tarkkailua, työntekijöiden kanssa keskustelua ja muutamia kokouksia toimihenkilöiden kanssa. Suurin osa tarkkailusta tapahtui ennen varsinaista diplomityötä, kun kirjoittaja oli kesätyössä tuotannossa pakkaajana. Kesätyön aikana kirjoittaja tutustui tehtaan toimintaan, kävi vapaamuotoisia keskusteluita ja tuotannossa työskentelevien kanssa ja henkilökohtaisesti havaitsi ongelmia etenkin tuotannon tiedonkeruussa. Puolivalmiiden pikarien huonosta laadusta pidettiin kolme palaveria, johon osallistuivat kaikki aiheeseen liittyvät toimihenkilöt: laatupäällikkö, laatuvaikuttaja, pikarilinjien ja dekorointiosaston aluevaikuttajat, tuotantopäällikkö ja toiminnan kehityspäällikkö. Noin tunnin mittaisissa palavereissa keskusteltiin ongelmista ja pohdittiin sen aiheuttavia syitä. Suunniteltiin kehittäviä toimenpiteitä ja tehtiin päätöksiä niiden toteuttamisesta. Palaverien sisältö dokumentoitiin vapaamuotoisesti. Joitakin palavereissa suunnitelmia ehdittiin toteuttaa ja niiden vaikutusta seurattiin tutkimuksen aikana. Palaverien lisäksi järjestettiin kaksi kokonaista työpäivää kestävä ongelmanratkaisu tapahtuma, johon otettiin mukaan myös linjalla työskenteleviä henkilöitä. Tästä tapahtumasta ja sen sisällöstä kerrotaan tarkemmin luvussa 6.3.

Dataa kerättiin linjoilla tehdyistä laatuhavainnoista, jotka koottiin yhteen taulukkoon. Yksi havainto on kertaluontoinen huomautus, eikä ota kantaa laatuvaikuttajien tuotteen kappalemäärään. Näitä havaintoja jaoteltiin tuotemallien, koneiden ja vikatyypin mukaisesti ja piirrettiin erilaisia kuvaajia. Kuvaajista tarkasteltiin esiin nousevia poikkeamia ja pohdittiin niille syitä. Dataa saatiin myös tuotannon sähköisestä tiedonkeruusta, johon kirjataan linjoilla tiedot tuotannon toiminnasta. Yksi yrityksen ongelmista oli epätarkka tiedonkeruu, joten tarkemman tiedon saamiseksi jouduttiin yhdistelemään useampia tietolähteitä. Tietoja tarkasteltiin muun muassa linjojen valmistusmääristä, hukasta, materiaalinkulutuksesta ja häiriöseisakeista. Tarkasteltavia tietoja koottiin vuoden 2016 tammikuusta lokakuuhun. Tutkimus alkoi lokakuussa ja pidemmälle ajanjaksolle ei nähty tarvetta, sillä ongelmat ovat toistuneet samanlaisina jo pitkään ja etenkin laatuhavaintojen koostaminen oli erittäin työlästä. Kirjoittajan toimesta koostettua dataa tarkasteltiin toimihenkilöiden palavereissa, sekä ongelmanratkaisutapahtumassa. Kokeilun ja ammattitaidon avulla keskusteltiin datan sisällöstä ja analyysit kirjattiin ylös vapaamuotoisesti. Näitä analyysieja on käsitelty luvussa 6 yhdessä kirjoittajan oman analyysin kanssa.

Tutkimuksen ohjenuorana käytetään Lean Six Sigma ajatusmaailmaa. Työ rakentuu DMAIC –nimisen ongelmanratkaisumenetelmän mukaisesti. Lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista: *Define, Measure, Analyze, Improve* ja *Control*. Eli määrittely, mitaus, analysointi, parannus ja ohjaus (Karjalainen 2002). Päätöksiä tukemaan etsitään kirjallisuudesta saman tuotantotyyppin teollisuuteen tehtyjä tutkimuksia, joissa on käytetty DMAIC –menetelmää.

1.5 Työn rakenne

Työn alussa perehdytään Lean Six Sigmaan ja siihen kuuluviin toiminnan kehittämisen työkaluihin, joita tässä tutkimuksessa tullaan hyödyntämään. Luvussa 3 tarkastellaan kohdeyrityksen tuotannon toimintaa, kuten tuotantomenetelmiä ja henkilöstön tehtäviä, jotka tulisi tietää työn sisällön ymmärtämiseksi. Luvussa kuvaillaan myös tarkemmin tuotannon keskeisiä ja avustavia toimintoja, joissa tutkimuksen ongelmat ilmenevät.

Luvusta 4 eteenpäin työn rakenne mukailee Lean Six Sigmaan kuuluvaa DMAIC –toimintamallia, jonka vaiheita ovat määrittely, mittaus, analysointi, parannus ja ohjaus. Ongelmien määrittelyssä (luku 4) syvennyttään tutkittaviin ongelmiin ja niiden aiheuttamiin oireisiin. Lähtötilan mittausvaiheessa (luku 5) kuutaan tietoa tukittavasta ongelmasta ja kerrotaan tietojen keräyksen haasteista. Mittausvaiheessa käsitellään ainoastaan käytännön ongelmia tuotannossa, sillä tiedonkeruun ongelmat eivät ole suoraan mitattavissa.

Ongelmien analysoinnissa (luku 6) etsitään mahdollisia syitä puolivalmiiden pikarien huonolle laadulle ja kehitetään ongelmiin ratkaisuja kerätyn datan ja ideoinnin avulla. Ideoinnissa on osallisena tuotannon työntekijöistä ja esimiehistä koostuva tiimi ja analyysin tuloksena syntyy toimintasuunnitelma ja kehitysehdotuksia pikarien laadun parantamiseksi. Analyysivaiheen toisena osana suunnitellaan parannuksia sähköiseen tiedonkeruuseen ja laadun tiedonjakoon.

Luvussa 7 kerrotaan toiminnan kehittämiseen suunnitelluista parannuksista, sekä toteutuneiden suunnitelmien toteutuksesta käytännössä. Luvussa 8 käydään läpi aikaansaatuja tuloksia ja kerrotaan niiden eteenpäinviemisestä ja ylläpidosta tulevaisuudessa. Mietitään myös aikaansaatujen muutosten soveltamista tehtaan muille linjoille. Lopuksi pohdintaa ja päättelyä tämän tutkimuksen lopullisesta ulosannista ja alussa asetettujen tavoitteiden toteutumisesta. Lisäksi kerrotaan suosituksista jatkotoimenpiteiksi, sekä arvioidaan tutkimusta yleisesti.

2. KIRJALLISUUSKATSAUS

2.1 Laatu, sisäinen laatu ja laadun kehittäminen

Laatu voidaan määritellä monista eri lähtökohdista. Nykyaikaisesti laatu voidaan määritellä tuotteen tai palvelun kykynä täyttää asiakkaan tarpeet ja odotukset. Asiakas päättää tuotteen sopivuuden hänen tarpeisiinsa ja ostopäätöstä tehdessä vertaa laatua vaadittuun hintaan. Määritelmä kattaa myös tuotteen virheettömyyden, koska yksikään asiakas ei halua virheellistä tuotetta. Tätä laadun määritelmää on kuitenkin hankala soveltaa yrityksen päivittäisissä toiminnoissa, joten tarvitaan yksiselitteinen laadun määritelmä. Tällöin tuotteen laadulle on määritetty selkeät kriteerit ja raja-arvot, jotka tuotteen tulee täyttää. Näiden tuotemäärittelyjen avulla voi kuka tahansa päättää, mitkä tuotteet ovat hyväksyttäviä ja mitkä vieheellisiä. Konkreettisia määrittelyjä tuotteen laadulle tarvitaan laadunvalvonnassa, tuotantoprosessin ohjauksessa ja laadun kehittämisessä. (Haverila *et al.* 2009, s. 372).

Sisäisellä laadulla tarkoitetaan tässä työssä tuotannon sisäisten toimintojen välistä laatua. Sen ero edelliseen laadun määritelmään on, että ulkoisen asiakkaan sijaan asiakas on puolivalmiin tuotteen tai raaka-aineen vastaanottava tuotantovaihe. Sisäinen asiakas tulisi ottaa huomioon yhtä vakavasti kuin ulkoinenkin, vaikka sisäisellä asiakkaalla ei ole vaihtoehtoja toimittajansa suhteen. Laatutason varmistamisesta ja huonosta laadusta aiheutuu erilaisia laatukustannuksia. Sisäisiä laatukustannuksia aiheutuu virheellisten tuotteiden korjauksista, sekä hylkäämisestä. Ulkoisia laatukustannuksia ovat ulkoisilla asiakkailla ilmenneiden virheellisten tuotteiden aiheuttamat hyvitykset ja korjaukset. Näiden lisäksi huonosta laadusta voi aiheutua välillisiä kustannuksia, jos yrityksen maine laskee ja kauppvoja menetetään. (Haverila *et al.* 2009, s. 376).

Monissa yrityksissä on pyritty parantamaan laatua jatkuvan parantamisen menetelmillä, joissa vaaditaan koko henkilöstön osaamista ja sitoutumista muutokseen. Usein pysyvässä muutoksessa ollaan epäonnistuttu, joten sitoutumisen onnistumiseen on yhdysvaltalaisissa yrityksissä syntynyt Six Sigma –toiminnankehitysmenetelmä. Siinä korostuu erityisesti tilastollinen laadunohjaus, joka on omiaan suurivolyymiseen tuotantoon. (Haverila *et al.* 2009).

2.2 Lean-ajattelu ja Six Sigma tuotannon laadun kehittämisessä

Lean-ajattelu on johtamisfilosofia, jonka eräs perusajatus on määrittää arvo asiakkaan näkökulmasta. Tuottaako jokin toiminto arvoa asiakkaalle, eli tuleeeko tuotteesta valmiimpi tai maksaako asiakas tästä toiminnosta meille. Tämän perusteella toiminnot jaetaan arvoa lisääviin ja lisäämättömiin toimintoihin. Arvoa lisäävissä toiminnoissa tuotteen arvo asiakkaan näkökulmasta kasvaa. Arvoa lisäämättömät toiminnot kuluttavat aikaa, materiaalia tai tilaa, mutta eivät lisää tuotteen arvoa asiakkaalle. (Carreira 2004, s. 2). Näitä arvoa lisäämättömiä toimintoja kutsutaan myös hukaksi. Leanin mukaan on olemassa seitsemän hukkaa: kuljetus, varasto, liike, odotus, ylituotanto, liika käsittely ja viat (Womack *et al.* 2003).

Toinen oleellinen asia Leanissa on resurssikeskeisen ajattelun muuttaminen virtauskeskeiseksi. Resurssitehokkaassa tuotannossa, aika jona resurssit tuottavat arvoa, on suhteessa mahdollisimman pitkä. Esimerkiksi kuinka paljon koneilla ja työntekijöillä on tekemistä. Virtaustehokkaassa tuotannossa, aika jona virtausyksikön eli tuotteen arvo lisääntyy, on pitkä tiettyyn ajanjaksoon verrattuna. Virtauskeskeisessä tuotannossa tuotteen läpimenoaika on yleensä lyhyempi, koska toiminnot on suunniteltu tuotteen eikä koneiden kannalta. Asiakkaalle arvoa tuottamattomia toimintoja on vähemmän, kuten esimerkiksi varastointia tai turhaa siirtelyä. (Modig *et al.* 2013, s. 19).

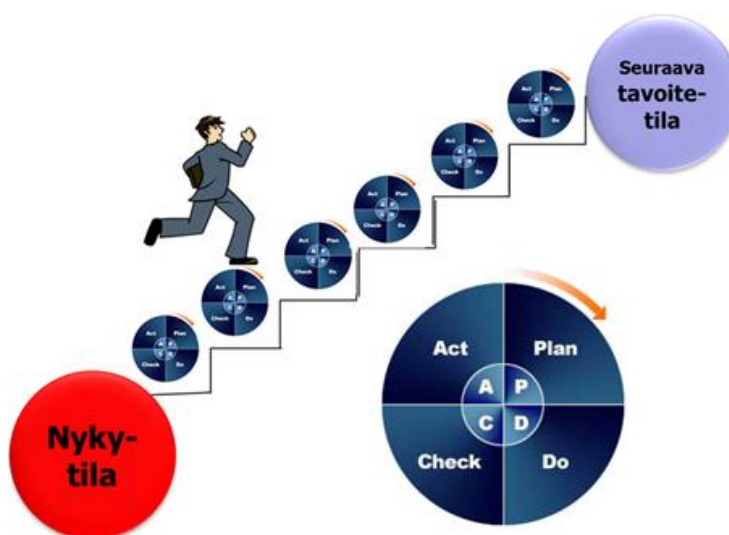
Lean on toiminnan parannuskeino, joka kannustaa visuaaliseen ohjaukseen. Visuaalisen ohjauksen tarkoituksena kuvata toimintaa, kuten esimerkiksi tietyn valmistuslinjan tehokkuutta, jotta voidaan erottaa todellinen tehokkuus oletetusta. Näin nähdään, toimiiko linja tavoitteiden mukaisesti vai onko tehtävä parannuksia. Tilanteesta riippuen visuaaliset mittarit voivat olla automaattisia ja sähköisiä, tai manuaalisesti käsin päivitettäviä. Mittarin tyypin valintaan vaikuttavat muun muassa sen haluttu tarkkuus, kuka mittaria tarvitsee, halutaanko se esille useaan paikkaan ja tarvitseeko tietoja tarkastella jälkikäteen. Manuaalisessa, käsin täytettävässä mittarissa etuna on konkreettinen tekeminen, joka pakottaa tarkastelemaan sisältöä ainakin silloin kun se kirjataan ylös. Manuaalisen visuaalisen ohjaustaulun luomista ja kehittämistä ei rajoita tietotekninen osaaminen. Sähköisessä ohjauksessa saadaan esille tarkkaa tietoa, joka on helposti tarkasteltavissa laajempina kokonaisuuksina. Sähköisen mittarin haittapuolena on, että sen tarkastelu voi jäädä tekemättä, jos se on vaikeasti saatavilla tietokoneen syövereissä. (Mann 2005).

Tässä työssä on mukana vaikutteita sekä Leanista, että toisesta toiminnan kehittämisen menetelmästä, Six Sigmasta. Tällöin voidaan puhua niiden yhdistelmästä Lean Six Sigmasta, jossa yhdistetään Leanin ja Six Sigman keskeiset toiminnan parantamisen keinot. Niiden erona on, että Lean keskittyy arvoa tuottamattoman hukan eli *Waste* vähentämiseen ja Six Sigmassa pyritään vähentämään prosessissa syntyviä vikoja eli *Defects*. Molempia yhdistää ajatus jatkuvasta parantamisesta.

Six Sigman pääperiaatteina on keskittyä asiakastyytyväisyyteen, parantaa tuottoa ja vähentää kustannuksia, minkä seurauksena voitto paranee. Näihin tavoitteisiin pyritään vikoja vähentämällä. Prosessien suorituskkyä parannetaan erillisinä projekteina, ja projektien kohteen valinta perustuu siihen, kuinka suuri vaikutus kehityskohteella on yrityksen liiketoimintaan. (Karjalainen 2002, s. 42). Yksi Six Sigman käyttöönottamisen haasteista on, kuinka sen tarjoamia työkaluja saadaan sovellettua juuri oman yrityksen toimintaan. Six sigma –menetelmässä oleellinen osa on myös kommunikointi yrityksen kaikkien tärkeiden toimintojen välillä. (Pande *et al.* 2014, kappale 3.3.3).

Ongelmanratkaisussa ei riitä, että käytetään ideoita ja tuntemuksia. Ratkaisu ei myöskään löydy pelkästä datasta, kuten esimerkiksi kuukausiraporteista. Six Sigman ajatuksena on yhdistää nämä kaksi tiedonlähdettä, eli hypoteesit ja dataan perustuvat faktat vuorottelevat ongelmanratkaisuprojektissa. Teoriaan, hypoteesiin, ideaan, malliin tai mielikuvitukseen perustuvia päätelmiä kutsutaan induktioksi. Dataan, faktaan tai todistukseen perustuvia deduktioksi. (Karjalainen 2002, s. 15).

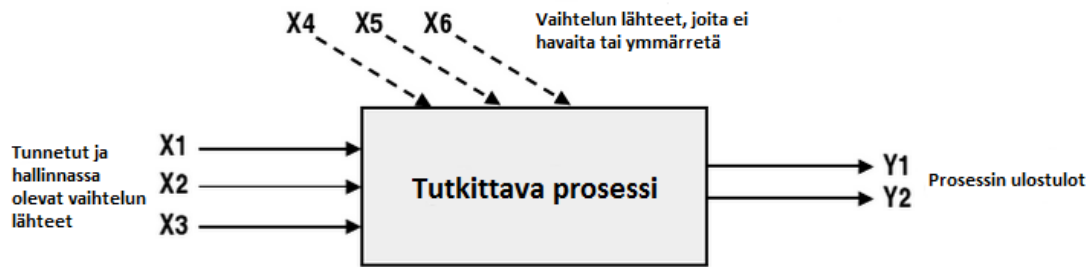
Samalla tavalla toimii niin sanottu jatkuvan parantamisen malli eli PDCA –parannusympyrä. Ympyrässä P eli *Plan*–vaiheessa muodostetaan hypoteesilla teoria, joka on induktio. D on *Do*, jossa toteutetaan teoria ja kerätään dataa, jotta edellinen induktio joko kumotaan tai vahvistetaan deduktiolla. Tästä datan analysoinninvaiheesta tulee kirjan C eli *Check*. Sen mukaan oliko teoria oikea tai väärä, määrittyy viimeinen vaihe A eli *Act*. Sama ympyrä toistetaan useita kertoja, kunnes päästään oikealle tasolle ongelman ratkaisussa. (Karjalainen 2002, s. 15). PDCA –mallia kutsutaan myös *Shewhart–Deming–box* –jatkuvan parantamisen malliksi, jonka vaiheet näkyvät kuvassa 1.



Kuva 1. PDCA–malli toistetaan, kunnes päästään haluttuun lopputulokseen (Muokattu lähteestä: Six Sigma.fi, 2016)

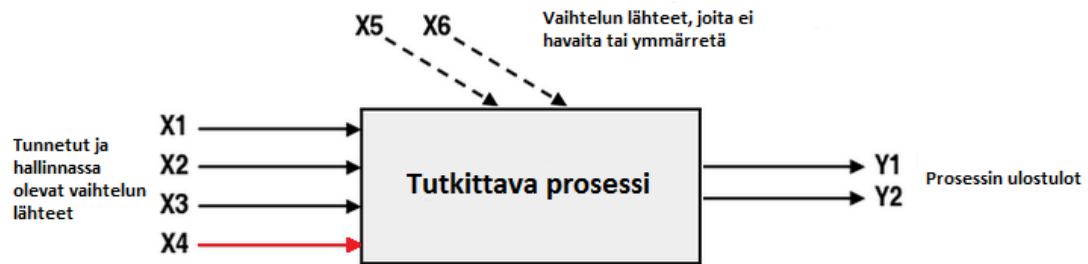
Six Sigmassa tutkittavaa prosessia kuvataan usein yhtälöllä $Y = f(X)$, jossa Y on prosessin ulostulo, ja X prosessiin sisään menevä tekijä. Funktio f ja yhtälö $Y = f(X)$, ku-

vaavat kuinka Y muuttuu, kun X muuttuu. Useimmissa prosesseissa yhtälöön vaikuttaa useammat eri sisääntulot, eli yhtälö olisi muotoa $Y = f(X_1, X_2, X_3)$. On olemassa kahdenlaisia vaikuttajia prosessissa. Vaikuttajia, jotka ovat hallinnassa ja joita voidaan muuttaa, ja näin ollen vaikuttaa ulostuloon Y . Nämä hallinnassa olevat vaihtelunlähteen näkyvät kuvassa 2 yhtenäisinä nuolina. Toiset vaihtelun lähteet ovat vaikuttajia, joita ei havaita, ymmärretä tai jotka eivät ole hallinnassa. Ne näkyvät kuvassa 2 katkovii-
vanuolina. Englanniksi näitä vaikuttajia kutsutaan *Noise Variables*, eli kohina muuttujiksi. (Cox *et al.* 2009).



Kuva 2. Prosessiin vaikuttavien tekijöiden mallinnus (muokattu lähteestä: Cox *et al.* 2009, s. 9)

Hallittavissa olevia sisääntuloja (X_1, X_2, X_3) voisivat olla esimerkiksi käytetyt raaka-aineet ja tuotantoprosessin nopeus. Vaikka raaka-aineet olisivat laadukkaita, ja tuotantonopeus laskennallisesti oikea, ei lopputulos todennäköisesti ole täydellinen. Tämän aiheuttavat vaihtelun lähteet (X_4, X_5, X_6), jotka eivät ole hallinnassa tai joita ei ole tunnistettu. Hallitsematon prosessin osa voi olla esimerkiksi vaihtelevat työskentelytavat ja –taidot työntekijöiden kesken. Nämä hallitsemattomat vaihtelun lähteet aiheuttavat variaatiota tutkittavan prosessin ulostuloon ja tämän variaation supistaminen on Six Sigman ydinajatus. Jos prosessia ei ole mahdollista parantaa hallinnassa olevia sisääntuloja muuttamalla, täytyy muutos tehdä jossain muualla. Prosessia kehitetään muuttamalla hallitsemattomia vaihtelun lähteitä hallituiksi. Esimerkiksi vaihtelevien työskentelytapojen ja –taitojen tapauksessa, määritetään standardi työskentelytavoille ja rakennetaan työntekijöiden osaamismatriisi. Muutoksen jälkeen seurataan kerätystä datasta vaikutuksia ja todetaan muutoksen vaikutus prosessiin. Onnistuneella prosessin kehityksellä päästään tilanteeseen, joka näkyy kuvassa 3. Yhdestä hallitsemattomasta vaikuttajasta (X_4) on tullut hallinnassa oleva vaikuttaja ja variaatio vähenee. (Cox *et al.* 2009, s. 8).



Kuva 3. Prosessiin vaikuttavien tekijöiden mallinnus muutoksen jälkeen (muokattu lähteestä: Cox *et al.* 2009, s. 9)

Kun ymmärrämme paremmin prosessiin vaikuttavia tekijöitä, ja pyrimme muuttamaan ne hallitsemattomista hallituksi, pystymme paremmin selittämään ja ohjailemaan ulostuloa Y. Tämän jälkeen voimme muuttaa prosessin ulostuloa enemmän mieleisemmäksi, eli parantaa tuotteen laatua. (Cox *et al.* 2009, s. 9).

Six Sigma on visio ja strategia, jonka avulla pyritään nollaan virheeseen. Six sigmassa asiakas on etusijalla ja siinä käytetään dataa ja faktoja, jotta saadaan parempia ratkaisuja toiminnalle. Karjalaisen (2002) mukaan ”Six Sigman tarkoituksena on parantaa kaikkia organisaation alueita niin, että täytetään asiakkaiden, markkinoiden ja teknologioiden muuttuvat tarpeet siten, että saadaan työntekijöille, asiakkaille ja osakkaille hyötyä.” Six Sigmalla on neljä vaikutusaluetta: parantunut asiakastyytyväisyys, lyhentynyt läpimenoaika, vikojen vähentyminen ja jalostusarvoa lisäämättömän työn vähentyminen. Näiden osa-alueiden parantuminen tuo liiketoiminnalle kustannussäästöjä, sekä korreloi usein mittariin, jota kutsutaan sigmaksiksi. Kreikkalaista kirjainta sigmaa (σ), käytetään tilastotieteessä kuvaamaan standardipoikkeamaa. Standardipoikkeama kuvaa mittaustulosten eroa keskiarvosta ja mitä enemmän vaihtelua, sitä suurempi σ . Vaihtelu kuvaa tuotteen laadun poikkeamaa ja Six Sigman tavoite on pienentää tätä vaihtelua. (Karjalainen 2002, ss. 17–18).

Six Sigmassa 6σ tarkoittaa, että hyväksytyn tuotteen raja on kuuden sigman etäisyydellä normaalijakauman keskiarvosta. Normaalijakauma kattaa kaikki valmistetut tuotteet. Sigma on etäisyys (standardipoikkeama) populaation keskiarvosta μ . Kuinka monta sigmaa prosessi on eli kuinka monen sigman etäisyydellä keskiarvo on ei-toivotusta rajasta. Jotta sigmaluku saadaan määritettyä, ensin tuotteen laatu poikkeamille lasketaan *Defects Per Million Opportunities* (DPMO), ja se käännetään taulukon avulla sigma luvuksi. DPMO saadaan, kun viallisten tuotteiden määrä jaetaan mahdollisten vikojen määrällä (kaava 1). (Karjalainen 2002). Taulukossa 1 on koottuna sigma-lukuihin liittyvät DPMO –arvot ja prosessin saannot.

$$DPMO = \frac{\text{vialliset tuotteet}}{\text{tuotteet} \times \text{vian mahdollisuus}} * 1\,000\,000 \quad (1)$$

Taulukko 1. Sigma-luku muunnettuna DPMO:ksi ja saannoksi (muokattu lähteestä: Karjalainen 2002)

| σ | DPMO | Saanto |
|------------------------|--|------------|
| 2 | 308 537 | 69,1 % |
| 3 | 66 807 | 93,3 % |
| 4 | 6 210 | 99,38 % |
| 5 | 233 | 99,977 % |
| 6 | 3,4 | 99,99966 % |
| Prosessin kyvykkyys | Vikoja per miljoona mahdollisuutta | |

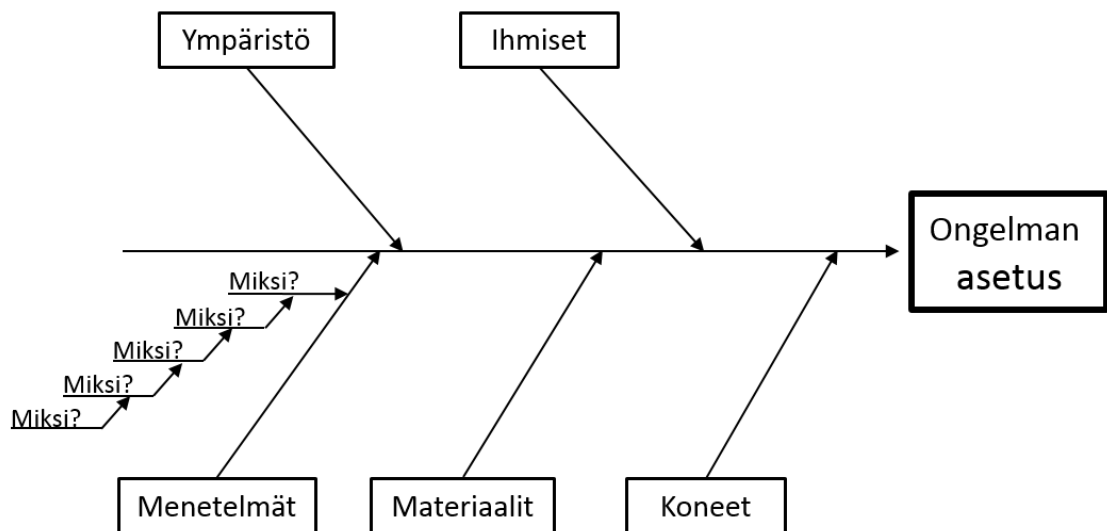
Itse Six Sigma tarkoittaa montaa eri asiaa, kuten vertailumittaa tai filosofiaa. Sen avulla voi vertailla toisiinsa erilaisten toimintojen suorituskykyä. Six Sigma mittarilla mitataan, kuinka paljon sallitussa vaihteluvälissä saa olla ei-sallittua vaihtelua. Kuuden sigman taso on laatutaso, jota kohti pyritään. Autoteollisuuden vaatimustaso alihankkijoilleen on kutakuinkin 6σ . Suomessa laatuvaatimus on tyypillisesti 2 - 3 sigman tasolla ja maailmalla 3 - 4 sigman tasolla. (Karjalainen 2002, ss. 18–20).

Six Sigman tehokkuus perustuu ammattitaitoiseen tiimiin ja hallittuun aikatauluun. Six Sigma –projektin toteuttamiseksi tarvitaan ihmisiä, jotka täyttävät tietyt roolit ja joilla on osaamista eri osa-alueilta. Tiimin jäsenille on olemassa eritasoisia koulutuksia, ja koulutettavat valitaan oman yrityksen sisältä. Ylimpänä on käyttöönoton johtaja (*Deployment Leader*), joka on yleensä yrityksen ylintä johtoa. Hän määrittää projektin tavoitteet ja valitsee muut tiimin jäsenet, sekä varmistaa tiimin oikeanlaisen koulutuksen. Johtaja on läheisesti tekemisissä *Championin* kanssa, joka on varsinainen projektin omistaja. Hän tukee ja ohjaa muita tiimin jäseniä, sekä hankkii resursseja projektin käyttöön. *Champion* on vastuussa projektissa kehitettyjen ratkaisujen toteuttamisesta. Itse Six Sigma projektin toteuttamiseen osallistuvilta henkilöiltä vaaditaan eritasoista osaamista. Vaativimmillaan tarvitaan monimutkaisten ongelmien ratkaisua ja huomattavaa tilastollista asiantuntemusta. Korkeimman taitotason omaavat *Black Beltit*, jotka ovat käyneet läpi useita koulutuksia ja Six Sigma –projekteja. Keskitasolla ovat *Green Beltit* ja perustasolla *Yellow Beltit*. Viimeisimmät voivat olla ketä tahansa projektiin osallistuvia henkilöitä ilman varsinaista osaamista Six Sigmasta, esimerkiksi tuotannon työntekijöitä. (Gygi et al. 2012, ss. 46–54).

2.3 Juurisyysanalyysi laatuongelmien syiden tunnistamisessa

Juurisyysanalyysin tarkoituksena on löytää toistuvien ongelmien todellinen syy. Se on tapa reagoida ilmeneviin ongelmiin. Jos ongelma korjataan ensimmäisellä mieleen tulevalla keinolla, mutta se ilmestyy aina uudestaan, tulee etsiä ongelman todellinen aiheuttaja eli juurisyys. Juurisyysanalyysiä ennen määritellään ongelma, joka halutaan ratkaista. Itse analyysissä määritellään mahdolliset aiheuttajat ja kerätään niistä saatavilla oleva data. Datan analysoinnin ja pohdinnan lopputuloksena pitäisi löytää ongelman pohjimiltaan aiheuttanut syy. Tärkeää on kyseenalaistaa kaikki, eikä sulkea mitään vaihtoehtoja välittömästi pois. Yhtenä keinona voi käyttää 5 *Whys* eli 5 kertaa miksi –prosessia, jossa jokaiselle ehdotetulle vastaukselle esitetään kysymys “miksi?”, kunnes juurisyys löydetään. Tämän jälkeen korjataan juurisyys, eikä sen oireita. (Okes 2009).

Syy- ja seurauskaavio eli Ishikawa-diagrammi on yksi Six Sigmassa käytetty työkalu. Työkalun on kehittänyt japanilainen Kaoru Ishikawa 1960-luvulla. Diagrammissa ratkaistava ongelma laitetaan oikeaan laitaan ja mahdolliset ongelman aiheuttajat kerätään otsikoituihin haaroihin. Otsikot voivat vaihdella ongelman tyypistä riippuen, mutta useimmin käytetty on neljän M:n lähtötilanne. Eli englanniksi *Man* (ihmiset), *Machine* (koneet), *Materials* (materiaalit) ja *Methods* (menetelmät). Näiden lisäksi voidaan käsitellä ympäristö, kuten kuvan 4 syy- ja seurauskaaviossa. (Karjalainen 2002, s. 131).



Kuva 4. Ishikawa-diagrammi yhdistettynä 5 kertaa miksi –menetelmään (Mukailtu lähde: Karjalainen 2002, s. 130)

Kaavion luominen aloitetaan ideoimalla mahdollisia ongelman aiheuttajia erillisille papereille. Ideat lajitellaan sopiviin ryhmiin ja ryhmät otsikoidaan joko kuvan 4 mukaan, tai soveltaen. Kuvassa näkyy myös, kuinka prosessiin yhdistetään 5 kertaa miksi –tekniikka, jotta päästään syvemmälle ongelman aiheutumisessa. (Karjalainen 2002, s. 131).

Seuraavaksi esiteltävän DMAIC –menetelmän kolme ensimmäistä vaihetta: *Define*, *Measure* ja *Analyze*, ovat yksi juurisyiden etsimisen keino. Myös aikaisemmin mainittu PDCA –malli on tapa etsiä juurisyitä. Näiden kaikkien menetelmien tarkoitus on ohjata ongelmaa ratkaisevien henkilöiden ajattelua ongelmanratkaisutilanteissa. (Okes, 2009).

2.4 Laatuongelmien analysoinnin prosessi Six Sigmassa

Six Sigmassa ajatuksena on löytää systeemistä prosessin suorituskykyä parantavat tekijät ja muuttaa niitä paremman tuloksen aikaansaamiseksi. Suorituskyvyn parantamisessa ei tule etsiä ilmeistä syytä kuten perinteisessä ongelmanratkaisussa. Ilmeisen syyn sijasta on etsittävä satunnaista syytä. Lääketieteeseen verrattaessa ilmeistä syytä voitaisiin kutsua akuutiksi sairaudeksi ja satunnaista syytä krooniseksi sairaudeksi, jonka syy ei ole selvillä. DMAIC on prosessi, joka on kehitetty satunnaisten syiden löytämiseksi. Prosessissa edetään loogisesti induktion ja deduktion avulla kohti juurisyitä. Ensin kuvaillaan ongelma ja pyritään löytämään syyehdokkaat. Tätä vaihetta kutsutaan karakterisointivaiheeksi. Seuraavaksi on optimointivaihe, jossa löydettyjä syytekijöitä muutetaan, jotta saadaan parannettua tuotetta tai prosessia. DMAIC –menetelmä perustuu dataan ja tilastolliseen ongelmanratkaisuun. Sen yhteydessä on mahdollista käyttää lukuisia erilaisia tilastollisia työkaluja. (Karjalainen 2002, s. 43).

DMAIC –menetelmällä havaitut ongelmat on aina todistettava tosiasioilla, eikä riitä, että ne vain oletetaan ongelmiksi. Juurisyiksi valitut syyt on perusteltava faktoilla ja datalla, ei olettamuksilla. Menetelmä keskittyy ulkoisen asiakkaan tärkeyteen. Tässä tutkimuksessa ulkoisen asiakkaan lisäksi asiakas on myös dekorointiosasto. Pikarilinjojen ongelmanratkaisussa dekorointiosastoa kohdellaan sisäisenä asiakkaana. Tehtyjen muutosten tulisi olla enemmän kuin pieniä muutoksia prosessissa ja riskin ottaminen niiden testauksessa ja kehittämisessä on olennainen osa Six Sigmaa. Tehtyjä muutoksia tulee seurata kerätyn datan avulla, jotta varmistutaan ratkaisun todellisesta vaikutuksesta. Parannusten ei pidä antaa kuolla hiljalleen pois, vaan niitä täytyy ylläpitää ja kehittää vielä varsinaisen projektin jälkeenkin. (Karjalainen 2002). Tämän tutkimuksen luvut 4 - 8 noudattavat DMAIC –menetelmän mukaista rakennetta. Taulukossa 2 on kerrottu lyhyesti kunkin kohdan tarkoitus.

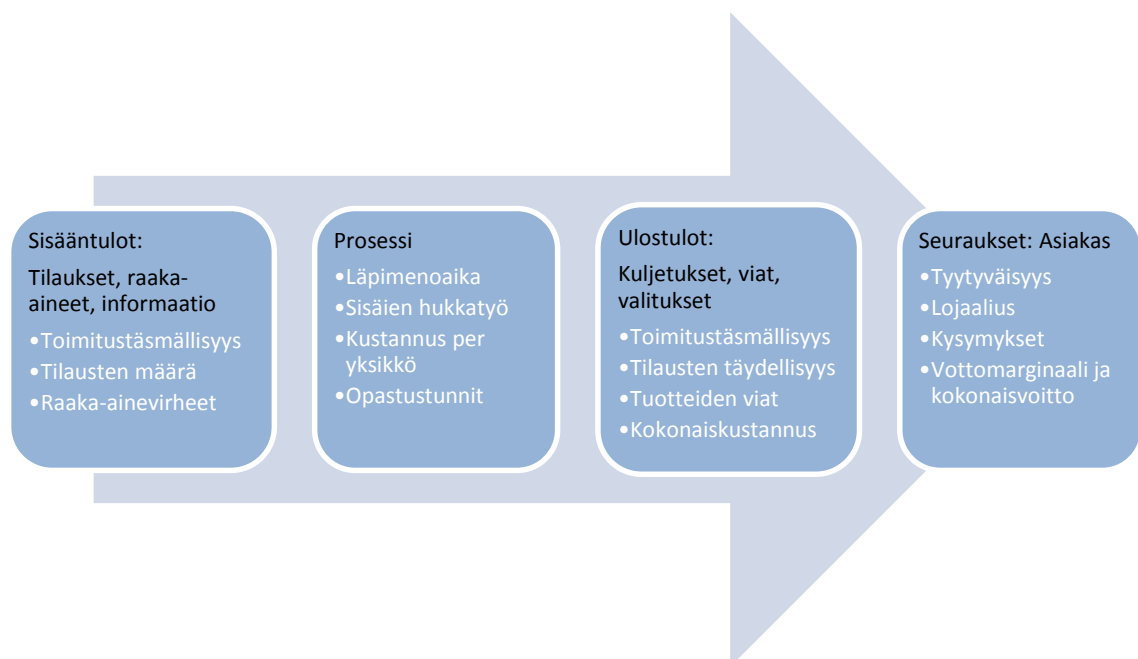
Taulukko 2. DMAIC –ongelmanratkaisumenetelmän vaiheet (Karjalainen 2002, s. 49)

| | |
|---------------------------|--|
| Define, määrittele | <ul style="list-style-type: none"> • Tunnista ongelma • Määrittele vaatimukset • Aseta tavoite |
| Measure, mittaa | <ul style="list-style-type: none"> • Kelpuuta ongelma • Viimeistele tavoite • Mittaa avainkohdat |
| Analyze, analysoi | <ul style="list-style-type: none"> • Luo syy–seuraus hypoteesi • Tunnista keskeiset ydinsyyt • Kelpuuta hypoteesit |
| Improve, paranna | <ul style="list-style-type: none"> • Luo idea, kuinka ydinsyyt poistetaan • Testaa ratkaisu • Standardisoi ratkaisu • Mittaa tulos |
| Control, ohjaa | <ul style="list-style-type: none"> • Luo standardimittaukset ylläpitämään suorituskkyä • Korjaa ongelmat, jos niitä syntyy |

DMAIC –menetelmän määrittelyvaiheessa määritellään havaittu ongelma ja sen asiakasvaatimukset, joilla rajataan projektin tarkoitus ja laajuus. Määrittelyvaiheessa määritellään vaatimukset projektille ja asetetaan sille tavoite. On myös hyvä tehdä prosessikuvaus tuotteen jalostusarvon muodostumisesta, sekä luoda lista asiakastytyväisyydelle tärkeistä asioista. (Karjalainen 2002).

Mittausvaiheessa alkaa varsinainen ongelmanratkaisu. Valitaan yksi tai useampi kriittinen ominaisuus, joiden valintaan voidaan käyttää tilastollisia laatumenetelmiä, kuten vika- ja vaikutusanalyysi eli *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Vaiheen tarkoituksena on todentaa ongelman olemassaolo keräämällä siitä informaatiota. Yleensä mittausvaiheessa vielä tarkennetaan tavoitteita, kun ongelma saadaan datan avulla paremmin määriteltyä. Jo tässä vaiheessa voi löytyä mahdollisia ydin- ja juurisyitä. Tarkoituksena on myös luoda datankeräyssuunnitelma, jonka avulla seurataan tehtyjen muutosten vaikutusta prosessiin. Mittausvaiheen tuloksena pitäisi syntyä dataa lähtötilanteesta ja niistä piirretyt käyrät. Mittaustulokset pohjustavat seuraavan vaiheen eli analyysin, jossa luodaan hypoteesi ongelman ratkaisemiseksi. (Karjalainen 2002).

Prosessissa mittaukset voidaan jakaa kolmeen pääkategoriaan: sisääntuloon, prosessiin ja ulostuloon. Prosessin sisääntuloja muuttamalla voidaan muuttaa ulostuloa. Oletetaan, että huonot sisääntulot aiheuttavat huonoja ulostuloja, joten niiden avulla tunnistetaan myös mahdollisesti mahdollisia syitä ongelmalle. Prosessin aikaiset asiat, jotka voi jäljittää ja mitata, auttavat syiden havaitsemisen aloittamisessa. Prosessin ulostulosta välittömästi mitattavia asioita ovat esimerkiksi kuljetukset, viat ja valitukset. Pidemmällä aikavälillä mitataan muun muassa tuottoa ja tyytyväisyyttä. Ulostulot vaikuttavat asiakkaaseen, joka reagoi huonoihin ulostuloihin. Ulostulojen seurauksia voidaan mitata esimerkiksi asiakkaiden tyytyväisyydellä, lojaaliudella tai kyselyillä. (Karjalainen 2002, ss. 47–48). Kuvassa 5 on esitetty mainittu prosessi ja sen eri vaiheissa mahdolliset mitaukset.



Kuva 5. Prosessin mittauksien jaottelu ja vaiheiden sisältö (muokattu lähteestä: Karjalainen 2002, s. 47)

Analyysivaiheessa ideoidaan ja etsitään ongelman aiheuttajia, joten luodaan teoria eli hypoteesi. Hypoteesin luomisessa käytetään apuna mittausvaiheessa koottuja kuvaajia ja tilastoja. Sen jälkeen kehitetyt teoriat joko vahvistetaan tai kumotaan kerätyllä datalla ja vahvistetuilla faktoilla. Analyysi jaetaan kahteen osaan, prosessianalyysiin ja data-analyysiin. Prosessianalyysissa käydään yksityiskohtaisesti läpi prosessi, jossa havaitut ongelmat ilmenevät. Tarkoituksena on tutkia esimerkiksi läpimenoaikoja, mahdollisia korjaustoimia, sekä asiakasarvoa lisäämättömiä prosessin pysähdyksissä olo aikoja. Prosessianalyysi saattaa johdattaa ongelman etsimisen esimerkiksi tiettyyn koneeseen tai materiaaliin. Sitten data-analyysillä tutkitaan valittua osa-aluetta tarkemmin. Data-analyysissa voidaan myös löytää mittausvaiheen tuloksista mahdollisia trendejä ja poikkeamia. Niiden avulla löydetään uusia teorioita, sekä voidaan hylätä tai tukea olemassa olevia teorioita. Mahdollisen ongelmakohdan löydyttyä, etsitään sen juurisyy esimer-

kiksi aikaisemmin luvussa 2 mainitun PDCA –jatkuvan parantamisen mallin avulla. Analyysivaiheen jälkeen pitäisi olla otaksuma havaittujen ongelmien aiheuttajasta. Otaksuma eli hypoteesi on vahvistettu olemassa olevalla datalla. (Karjalainen 2002, ss. 49–50).

Parannusvaiheessa testataan ja sovelletaan ratkaisuja ongelmiin, joihin mittaus ja analyysivaiheiden juuri- ja ydinsyyt kohdistuivat. Tarkoituksena on testata ratkaisuiden toimivuutta käytännössä ja seurata niiden vaikutuksia. Parannusvaiheessa saadaan aikaan testatut toimenpiteet ongelman ratkaisemiseksi. Toimenpiteiden avulla saadaan supistettua mahdollisten syiden määrää. Jälleen kerran vaihe luo pohjan seuraavalle vaiheelle, jossa saavutettuja tuloksia arvioidaan. (Karjalainen 2001, ss. 51–52).

Ohjausvaiheessa arvioidaan kehitettyjen ratkaisujen toimivuutta ja suunnitellaan muutoksen ylläpito. Mietitään millaisia ohjeita, menettelyitä, mittauksia ja standardeja tarvitaan muutosten ylläpitämiseksi. Mittarit ovat tärkeitä, sillä niiden avulla seurataan ylläpidon onnistumista pitkällä aikavälillä. Ohjausvaiheessa tulisi käsitellä projektilla aikaan saadut tulokset. Verrataan tilannetta ennen ja jälkeen projektin. Tuloksissa tulisi myös käydä ilmi parannusten vaikutus itse liiketoimintaan. Selkeät dokumentit tuloksista sekä saavutetut opit ja suositukset. Raportoidaan uudet päivitettyt käytännön menettelyt ja muutokset laatujärjestelmään. (Karjalainen 2002, ss. 52–53).

2.5 Aiempi tutkimus suurivolyymisen tuotannon laadusta

Tätä työtä tukemaan etsittiin samantapaisia *Case*–tutkimuksia. Taulukkoon on koottu tutkimuksia, joissa on käytetty DMAIC –menetelmää ongelmanratkaisussa. Tutkimukset ovat monelta eri teollisuuden alalta, sillä elintarvikepakkauksiin liittyviä DMAIC –projekteja käsitteleviä tutkimuksia löytyi vain muutamia. Taulukkoon 3 on koottu keskeiset tiedot tutkimuksista ja verrattu niitä tähän tutkimukseen samankaltaisuuksien ja eroavaisuuksien osalta.

Taulukko 3. Case-tapauksia DMAIC –menetelmästä

| Tekijät | Kohde ja ongelma | Tulokset | Samaa | Erilaista |
|--------------------------------|---|---|--|---|
| Brace 2006 | Hukan vähentäminen pinnoituslinjalle, jolla valmistettiin laajaa valikoimaa autoteollisuuden tuotteita. | Projektin avulla saavutettiin 120 000 \$ vuosittaiset säästöt. Hukan vähentyessä ajoaika lisääntyi, laatu parani ja tarkastukset vähenivät. | Automatisoitu linjatuotanto. | Jatkuva, katkeamaton tuotanto. Projekti kohdistui yhteen linjaan. |
| Kumar <i>et al.</i> 2009 | Koneenosien laatua haluttiin parantaa ja vähentää kustannuksia. | Uusilla työskentelymenetelmillä estettiin osien vääntyminen. Muutoksella saavutetaan vuosittain noin 10 000 \$ säästöt. | Projektiin otettiin mukaan henkilöitä yrityksen eri osastoilta. | Viallinen tuote korjataan eli paljon jälkikäsittelyä. |
| Gijo <i>et al.</i> 2011 | Vikojen vähentäminen autoalan yrityksen hiontaprosessissa Intiassa. Haluttiin vähentää prosessin variaatiota ja parantaa saantoa. | Hiontaprosessin viat vähenivät 16,6 prosentista 1,19 prosenttiin. Saavutettiin alhaisempi hukan kustannus, työtuntien säästö uudelleen työstöä ja kasvanut prosessin ulostulo. Vuosittaiset säästöt olivat noin 2,4 miljoonaa \$. | Prosessista ei ollut kunnollista dataa, joten datan kerääminen projektin aikana oli erittäin työlästä. | Yrityksessä ei oltu aikaisemmin tehty vastaavanlaisia kehitysprojekteja. |
| de Carvalho <i>et al.</i> 2014 | Autonistuinten valmistava yritys halusi vähentää vikoja tuotannossaan. | Saavutettiin parempilaatuinen prosessi ja kustannukset vähenivät. Viallisten istuinten määrä väheni 69 %. | Tarvittiin parempaa dataa tuotteen laadusta, jotta parannusta voidaan ylläpitää. | Tuotannossa työntekijät valmistivat tuotteita käsin toistuvina työtehtävinä tuotantolinjalla. |

| Tekijät | Kohde ja ongelma | Tulokset | Samaa | Erialaista |
|--|---|--|--|---|
| Jirasukprasert <i>et al.</i> 2014 | Kumihanskojen laatuvi- koja, kuten reikiä ja likaa, haluttiin vähentää. | Tuotantoprosessin optimoinnilla saavutettiin laadun parannus, eli 50 % vähemmän vuotavia hanskoja | Muovista valmistettu suu- ren volyymin tuote. Tii- missä oli mukana koneen- hoitaja. | Keskityttiin vain yhteen tuot- teeseen. Ulkoinen asiakas teh- nyt suuren määrän reklamaati- oita viallisista hanskoista. |
| Prashar 2014 | Huonon laadun aiheutta- mien kustannusten vähen- täminen helikopterin voite- luöljyä viilentävän tuulet- timien asennuksessa. | Asennusten hylkäysprosentti väheni 9 prosentista lähes 0 prosenttiin. | Ongelma oli yrityksen sisäisessä laadussa, eikä vaikuttanut suoraan ulkoi- seen asiakkaaseen. | Kyseessä pienivolyyminen tuote, jota valmistetaan vain 82 kappaletta vuodessa. |
| de Queiroz Santos <i>et al.</i> 2015 | Brasilialainen muovisia käyttötavaroita valmistava yritys. Kohteena suurivo- lyymisiin tuote muovihaa- rukka ja sen laatuongelmat, erityisesti ruiskuvalu. | Laadunhallintaa kehitettiin ja on- gelmanratkaisumenetelmä otettiin käyttöön yrityksessä laajalti paran- nuksien toteuttamiseksi. | Määritettiin yleisimmät vikatyypit ja tutkittiin nii- den esiintymismäärää. | Projektin tiimissä ei ollut mu- kana tuotannon työntekijöitä, vaan se koostui yrityksen joh- dosta ja läheisen yliopiston professoreista. |

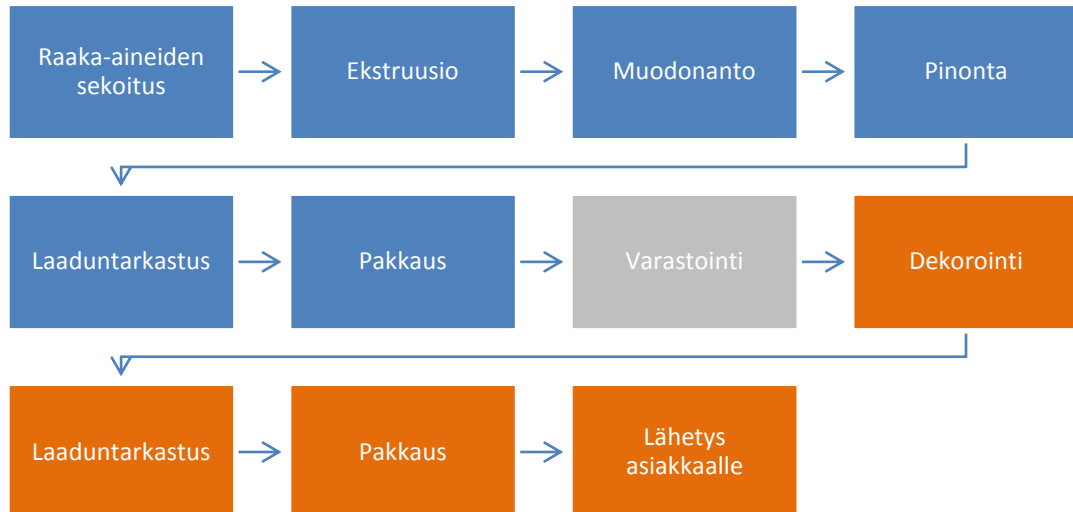
Case-tutkimuksia kerätessä voitiin huomata, että Six Sigmaa ja sen DMAIC:a voidaan käyttää hyvin erialisissa tuotantotyypeissä, kuten jatkuvassa automatisoidussa linjatuo-
tannossa tai pienivolyymisessä käsityössä. Tutkimuksista suurin osa oli autoteollisuuden
yritysten tapauksissa. Kuten jo aikaisemmin mainittiin, on autoteollisuuden yritysten
sigma-taso yleensä korkea, eli lähellä kuutta sigmaa. Tämän voidaan olettaa johtuvan
siitä, että ihmisten turvallisuuteen liittyvillä teollisuuden aloilla virheetön laatu on eri-
tyisen tärkeää, kun verrataan esimerkiksi pakkausteollisuuteen. Autoteollisuudessa tuot-
teet ovat myös kalliimpia kuin pakkausteollisuudessa.

Tutkimukset osittivat, että menetelmän avulla on mahdollista saada aikaan suuria sääs-
töjä. Työryhmän kokoonpanon merkitys nousi esiin tutkimuksissa. Joissakin tapauksissa
mukana oli myös tuotannossa työskenteleviä henkilöitä, mutta yksi tiimi koostui toimi-
henkilöistä ja yliopiston professoreista. Linjoilla työskentelevien henkilöiden osallistu-
minen kehitystoimintaan osoittautui tärkeäksi, ja se otetaan huomioon tässä tutkimuk-
sessa.

3. TUOTANNON TOIMINTA KOHDEYRITYKSESSÄ

Tutkimuksen käytännön tarkastelun kohteeksi valittiin pikarien sisäinen laatu. Pikareita käytetään esimerkiksi viilien ja jogurttien pakkaamiseen. Niiden valmistusprosessi alkaa polymeerilevyn ekstruusiosta, jonka jälkeen tuote saa muotonsa muodonannossa. Pelkän muodon saaneita tuotteita kutsutaan puolivalmiiksi tuotteiksi. Puolivalmiit tuotteet siirtyvät dekorointiosastolle, jossa tuote viimeistellään. Tuotteita valmistetaan useana eri tuotemallina eli muotona ja muutamasta eri polymeeristä. Laadunvalvonta on tässä työssä hyvin keskeinen asia, ja sille on omat toimintatapansa eri koneryhmissä. Myös tuotannon henkilöstö ja heitä avustavat automaattiset toiminnot ovat keskeisessä osassa tutkimusta. Avustavia toimintoja ovat esimerkiksi automatisoitu tuotteiden pakkaus, sekä puolivalmisvarasto.

Kuvassa 6 on pikarien valmistuksen prosessin kuvaus. Sinisellä pohjalla olevat vaiheet tapahtuvat niin sanotulla pikarilinjalla eli muodonantolinjalla. Oranssilla pohjalla olevat vaiheet suoritetaan dekorointiosastolla.



Kuva 6. Pikarien valmistuksen vaiheet

Tässä luvussa esitellään tarkemmin tämän kuvan prosessi ja siihen liittyvät avustavat toiminnot. Kerrotaan erityisesti elintarvikepakkauksien vaatimista materiaaliominaisuuksista, sekä valituilla linjoilla valmistettavien tuotteiden materiaaleista. Kappaleen on tarkoitus antaa lukijalle tarvittavat tiedot toiminnoista ja ympäristöstä, johon tämä tutkimus kohdistuu.

3.1 Materiaalit ja tuotteet

Elintarvikepakkauksille on asetettu paljon erilaisia vaatimuksia. Ruuan täytyy säilyä tuoreena ja maukkaana, kunnes tuote otetaan käyttöön. Tämän takia elintarvikepakkauksissa käytettäviltä polymeereiltä vaaditaan hyviä suojaavia ominaisuuksia. Ne eivät saa läpäistä kaasuja, höyryjä tai nesteitä, jotta tuotteen kosteus säilyy ja haitalliset hajut ja epäpuhtaudet pysyvät pakkauksen ulkopuolella. Pakkauksen täytyy myös olla myrkytön, eikä se saa kemiallisesti reagoida sisältönsä kanssa. Pakkausten täytyy olla kestäviä, vaadittaessa läpinäkyviä, edullisia ja helposti prosessoitavia. Käyttökohteesta riippuen niiden täytyy myös kestää sterilointia, kuumasaumausta, sekä olla painatettavia. (Nicholson 2006, ss. 158–159; Massey 2003, s. 49).

Mikään polymeeri ei yleensä yksinään pysty täyttämään vaadittuja ominaisuuksia, joten yhdestä tai useammasta polymeeristä tehdään usein monikerrosrakenteita. Monikerrosrakenteella saavutetaan paremmat suojaavat ominaisuudet. Monikerrosrakenne toteutetaan ekstruusiassa, muotissa tai ekstruusiopinnoitusmenetelmillä. Monikerrosrakenteiden haittapuolena on vaikea kierrätettävyys, joka vaikuttaa niiden ympäristöystävällisyyteen. (Nicholson 2006, ss. 158–159; Massey 2003, s. 49).

Käyttösovelluksissa polymeereihin laitetaan lisäaineita, ja tällaisia kaupallisia tuotteita kutsutaan muoveiksi. Lisäaineilla saavutetaan haluttuja ominaisuuksia, kuten esimerkiksi lämmön ja valon kestävyys, varastointikestävyys sekä joustavuus. Elintarvikkeiden pakkauksissa on tärkeää, että pakkauksen materiaali ei sekoitu pakkauksen sisältämään tuotteeseen. Suuren moolimassan polymeerit ovat hyviä pakkausmateriaaleissa, koska ne liukenevat huonosti orgaanisiin ja vesipitoisiin liuoksiin. Lisäaineet saattavat liueta tuotteeseen ja aiheuttaa ongelmia makumuutoksissa, tai olla jopa myrkyllisiä. On olemassa suuri määrä lainsäädäntöjä, jotka määrittelevät muovipakkauksille vaaditut ominaisuudet, kun ne ovat kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa. (Nicholson 2006, s. 159; Pious ja Thomas 2016, s. 33).

Muovipakkauksille asetettujen vaatimusten odotetaan lisääntyvän tulevaisuudessa. Mikroterioiden ja yksittäispakattujen välipalojen kulutus kasvaa, mikä vaikuttaa muovien käyttöön ruuan säilömisessä ja pakkaamisessa. Kuluttajien tietoisuus pakkausten hävittämiseen liittyvistä ongelmista lisääntyy, ja se voi vaikuttaa muovien haluttavuuteen pakkausmateriaalina. Kaikesta huolimatta, muoveilla on hyvät ominaisuudet elintarvikkeiden säilömiseen ja kuljettamiseen asiakkaalle, joten niitä oletetaan käytettävän myös tulevaisuudessa. (Nicholson 2006, s. 160).

Lämpömuovauksessa on käytettävä termoplastisia polymeerejä eli kestopuoveja, jotka on toistuvasti mahdollista pehmentää kuumentamalla ja kovettaa jäähdyttämällä. Tämä ominaisuus johtuu niiden pitkistä lineaarisista ketjuista, jotka ovat kiinni toisissaan heikoilla sidoksilla. Vastakohtana ovat kertamuovit, jotka valmistetaan nestemäisestä hartista. Hartsi kovetetaan kemiallisesti, jonka ansiosta polymeeriketjujen välille syntyy

vahvoja sidoksia. Vahvojen sidosten takia kerran muotoiltua tuotetta ei voida enää uudelleen pehmentää ja muokata kuumentamalla. Kestomuovien lämpömuovausprosessissa polymeerin termiset ominaisuudet ovat tärkeässä asemassa ja niiden ymmärtäminen on tärkeää, kun suunnitellaan prosessoinnin parametreja. Kestumuoveissa polymeerit ovat joko amorfisia tai osakiteisiä, riippuen polymeeriketjujen järjestäytymisestä. Amorfisessa polymeerissä ketjujen rakenne on järjestäytymätön. Amorfisen polymeerin tärkein ominaisuus on lasisiirtymälämpötila (T_g). Sen alapuolella materiaali on jäykkä ja hauras, mutta yläpuolella kumimaista, koska polymeeriketjut pääsevät liikkumaan. Osakiteisessä rakenteessa kiteisyysaste eli amorfisen ja kiteisen osan suhde vaihtelee. Osakiteinen polymeeri on sulamislämpötilan (T_m) yläpuolella amorfista sulaa eli järjestäytymätöntä rakennetta. Kiteytyminen tapahtuu lämpötilan laskiessa sulamislämpötilan alapuolelle, mutta pysähtyy kun T_g saavutetaan. (Pious ja Thomas 2016, ss. 26–28).

Kohdeyrityksen pikarilinjoiden tuotteet ovat pääasiassa maitotuotteille tarkoitettuja kertakäyttöisiä pikareita. Asiakkaat käyttävät tuotteita muun muassa viilin, jogurtin ja rahkan pakkaamiseen. Yrityksen tuotemallit on nimetty ulkoisten mittojen ja käytetyn materiaalin mukaan. Samasta tuotemallista tehdään eri tuotteita, kun valkoisiin pikareihin lisätään painatus dekorointiosastolla.

Kuvassa 7 on havainnollistava kuva eräästä tuotemallista. Kuvaan on merkitty laadulle oleelliset osat: suutaso ja pinontaolake. Niissä esiintyvät laatuvirheet ovat kriittisiä tuotteen toimivuudelle. Suutasoa kutsutaan myös saumaustasoksi, ja sen tasaisuus on erityäin tärkeää tuotteen käytettävyyden kannalta. Pinontaolake pitää pinotut tuotteet sopivan etäällä toisistaan ja estää niiden jumittumisen sisäkkäin.



Kuva 7. Pikarin tuotemalli 220PS. Havainnointi sisäisessä laadussa kriittisistä kohdista

Pikareita valmistetaan pääosin polypropeenista (PP), polystyreenistä (PS). Näiden lisäksi joitakin tuotteita valmistetaan polyetyleenitereftalaatista (PET). Joissakin PS-

tuotteissa on etyleeni-vinyyli-alkoholi –kerros (EVOH). EVOH –kerrosta käytetään monikerrospakkauksissa tuotteille, jotka vaativat erityistä suojaa hapelta (Massey, 2003, p. 51). Tällä hetkellä Pikarilinjojen tuotteista kahteen ei lisätä painatusta tai etikettiä, vaan ne lähetetään eteenpäin sellaisenaan. Pikarin materiaali määräytyy asiakkaan toivomien ominaisuuksien ja käyttökohteen mukaan. Raaka-aineiden hintojen trendit vaihtelevat, ja päätöksiä tehdään myös niiden mukaan. Myös asiakkaalla käytettävissä olevan tuotantolinjan ominaisuudet voivat vaikuttaa materiaalivalintaan.

Polypropeeni on termoplastinen polymeeri. Sillä on laaja skaala hyviä ominaisuuksia, kuten keveys, lujuus, hyvä kemikaalien kestävyys ja lian vastustus, sekä hyvä lämpöstabiilius sadan celsiuksen yläpuolellakin. Sen käyttölämpötila-alue on korkeimmillaan jopa +130 asteeseen asti. Polypropeenin lasisiirtymälämpötila on -5 ja -15 celsiuksen välillä. PP on herkkä hapelle ja etenkin korotetuissa lämpötiloissa se vanhenee helposti, mikä heikentää sen mekaanisia ominaisuuksia. Tästä syystä joissakin tapauksissa-seokseen on lisättävä stabilaattoreita. Polypropeenilla on useita käyttökohteita, kuten lääketieteen tarvikkeet, elintarvikepakkaukset, kotitaloustuotteet ja lelut. (Pious ja Thomas 2016, s. 34).

Polystyreeniä käytetään useissa eri pakkaussovelluksissa, kuten tarjottimissa, pikareissa, ruokailuvälineissä ja pakasteastioissa. Teollisuudessa sitä käytetään muun muassa eristeenä ja syövyttäviä nesteitä sisältävissä putkissa. Polystyreenin ominaisuuksiin kuuluu: hyvät mekaaniset ominaisuudet, jäykkyys, läpinäkyvyys, edullinen hinta, mittapysyvyys ja hyvä prosessoitavuus. (Pious ja Thomas, 2016, s. 35). Polystyreeni on amorfinen ja sen lasisiirtymälämpötila on +90 - 100 celsiuksen välillä, joten huoneenlämpötilassa se on kovaa ja läpinäkyvää (Brydson 1999).

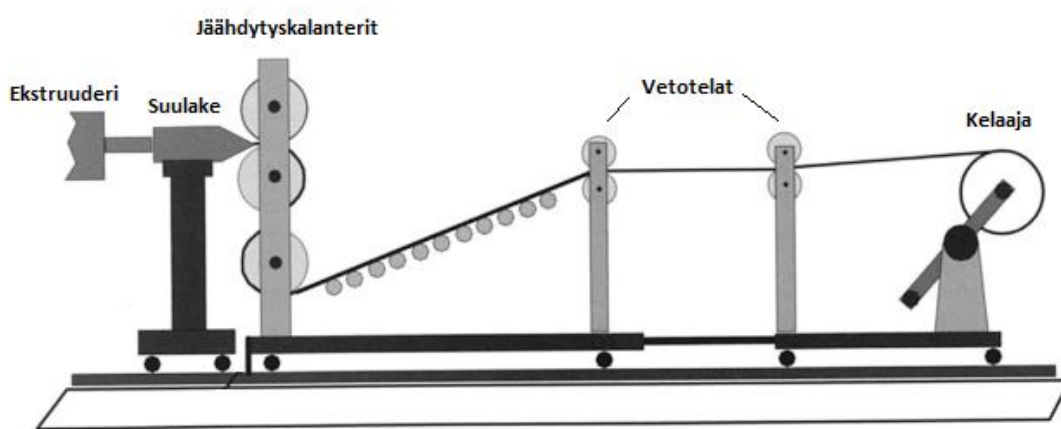
Kohdeyrityksen pikareihin ei käytetä lisäaineita vaan tarvittaessa ainoastaan valkoista väriainetta. Asiakkaan pyynnöstä voidaan lisätä antistaattisia lisäaineita, jotta esimerkiksi pöly ei tartu pikareihin. Joidenkin elintarvikkeiden vaatima valosuojia on mahdollista toteuttaa harmaalla väriaineella. Tarvittavaa kylmänkestoa saadaan lisäämällä kopolymeriä, eli polymeeriä, joka sisältää kahta erilaista monomeeriä.

3.2 Ekstruusio

Ekstruusio on yksi tärkeimmistä valmistusmenetelmistä polymeerien teollisessa prosessoinnissa. Englanninkielen sana *Extrude* tarkoittaa ulos puristamista tai työntämistä. Materiaali on ekstruudattu, kun se työnnetään aukosta ulos. Ekstruusiokoneessa tätä aukkoa kutsutaan suuttimeksi. Ekstruusiolla valmistetaan jatkuvia rakenteita kuten putkia tai levyjä, jotka saavat muotonsa suuttimesta. Ekstruusiossa käytetään kertamuoveja, kestopuoveja tai elastomeereja. Kestomuovien tapauksessa huonolaatuinen tuote murskataan ja kierrätetään prosessissa uudelleen. (Rauwendaal 2014). Kohdeyrityksen tuotannossa käytetään aina kestopuoveja, sillä lopullinen tuote saa muotonsa lämpömuo-

vauksella, johon vaaditaan polymeerin termoplastisia ominaisuuksia. Murskan kierrätyksestä kerrotaan tarkemmin luvussa 3.7.

Prosessissa kiinteä polymeerirouheeli eli granulaatti ja mahdollisesti kierrätetty murska sekoitetaan ensin mahdollisten lisäaineiden, värien, täyteaineiden ja voiteluaineiden kanssa. Lisäaineena voi olla esimerkiksi stabilointiaineita lämmölle, hapettumiselle ja säteilylle. Sen jälkeen seos syötetään syöttösuppilon kautta ekstruuderille, jossa se pehmenee kulkeutuessaan ekstruuderiruuvia pitkin kohti suulaketta. Suuttimen jälkeen tuote jäähdytetään haluttuun muotoon ja vedetään ulos ekstruuderista vakionopeudella. (Rauwendaal 2014; Wagner *et al.* 2014). Kuvassa 8 on esitetty levyekstruusiolinjan osat.



Kuva 8. Levyekstruusiolinjan osat (muokattu lähteestä: Wagner *et al.* 2014, s. 518)

Levyn ekstruusiossa tärkeitä komponentteja ovat: suulake, jäähdytyskalanterit, vetotelat ja rullan kelaaja. Leikkuri siistii levyn reunan, leikaten pois ohuen suikaleen molemmilta puolilta. Suulakkeen tulisi levittää polymeeriä tasaisesti koko leveydeltään. (Wagner *et al.* 2014).

3.3 Lämpömuovaus

Tuotteiden valmistuksessa pyritään kustannustehokkaaseen tuotantoprosessiin, tai vaihtoehtoisesti korkeammilla kustannuksilla pyritään saavuttamaan parempaa laatua. Joissakin sovelluksissa ruiskuvalu kilpailee lämpömuovauksen kanssa, mutta pakkausteollisuudessa lämpömuovaus on yhä edullisempi valinta. Lämpömuovauksessa muovilevy lämmitetään kumitilaan, eli sen lasisiirtymälämpötilan yläpuolelle. Tämän jälkeen se mekaanisesti muovataan kolmiulotteiseen muotoon muottien avulla. Toisin kuin ruiskuvalulla, lämpömuovauksen merkittävimpiä etuja ovat kustannustehokkaat lämpömuovaustyökalut, kohtuulliset hintaiset koneet ja mahdollisuus työstää myös monikerroksisia tai esipainettuja materiaaleja. (Ashter 2014, s. 1).

Lämpömuovausprosessissa levy syötetään koneen toisesta päästä sisään ja levy kiinnitetään koneen läpi kulkeville ketjuille. Levyn molemmissa reunoissa olevat ketjut kuljettavat levyä prosessin läpi tasaista vauhtia. Ennen varsinaista konetta on mahdollisesti myös esilämmitin. Koneen alussa on varsinaiset lämmityselementit, joita säädetään tarkasti ylä- ja alapuolella levyä. Seuraavaksi on muotoilutyökalu eli muotti, johon kuuluu ylä- ja alaosa. Muotti vaihtuu koneessa aina ajettavan tuotteen mukaan. Muotoilutyökalun ylä- ja alaosat painautuvat yhteen ja antavat tuotteelle halutun muodon. Leikkaus voi tapahtua joko muodonannon kanssa samassa tai erillisessä vaiheessa. Leikkauksen jälkeen pinolaite kerää tuotteita tietyn kappalemäärän ja siirtää ne pinoina eteenpäin. Ylimääräisenä jäänyt materiaalikehikko murskataan uusiokäyttöä varten. (Throne 2011, s. 338–341).

Tutkimuksen kohteeksi on valittu tehtaan pikarilinjat. Pikareita lämpömuovataan tehtaan kolmella pikarilinjalla, joita ovat pikarilinja 1 (PL1), pikarilinja 2 (PL2) ja pikarilinja 3 (PL3). Linjat on sijoitettu vierekkäin ja tiettyjä tuotemalleja valmistetaan samoilla linjoilla. Pikarilinjat ovat niin sanottuja *Inline*-koneita, jossa levyn ekstruusio ja lämpömuovaus tapahtuvat peräkkäin. Toinen vaihtoehto olisi, että levy valmistettaisiin rullalle, joka kuljetettaisiin muodonantokoneen päähän. *Inline*-tuotannossa etuna on, että levyä ei tarvitse ensin jäähdyttää huoneenlämpöön ja sitten taas lämmittää lämpömuovausta varten. Levyä ei tarvitse käsitellä ekstruusion ja muodonannon välillä, jolloin on epätodennäköisempää vahingoittaa levyä. Haittapuolena on, että lämpömuovauksen nopeus määrittää myös ekstruusion nopeuden. Jos lämpömuovaus joudutaan pysäyttämään toimintahäiriön vuoksi, täytyy ekstruderista tuleva levy jäähdyttää ja kerätä jotenkin talteen tai murskata. Yleisin ongelma onkin näiden toimintojen yhteen sopimaton kapasiteetti. (Throne, 2008, s. 77; Throne 2011, s. 345).

3.4 Dekorointiosasto

Muodonannon jälkeen pikarit siirtyvät automaattivaraston kautta dekorointiosastolle. Siellä ne joko painatetaan tai niihin liimataan kartonkinen etiketti eli *Sleeve*. Painatussa näkyvät tuotteen tiedot ja viivakoodi. Pikaripainokoneita on tehtaalla neljä: pikaripaino 1 (PP1), pikaripaino 2 (PP2), pikaripaino 4 (PP4) ja pikaripaino 5 (PP5). Painokoneiden lisäksi kahdella koneella liimataan kartonkisia etikettejä pikareihin yhdistelmäpakkauskoneilla 1 ja 2 (YP1 ja YP2).

Yhdistelmäpakkauksen muovinen pikari valmistetaan samalla tavalla kuin normaalit muoviset pikarit. Päälle liimataan kartonkinen etiketti, jossa voi olla laadukasta painatusta molemmilla puolilla. Kartonki tekee pikarista jäykemmän tuoden lisää kestävyyttä. Osat on mahdollista irrottaa toisistaan kierrätystä varten.

3.5 Henkilöstö koneilla

Tuotannossa työtä tehdään kolmessa vuorossa, viitenä peräkkäisenä päivänä viikossa. Jokaiselle koneelle on jokaisessa vuorossa määritetty oma vastaava koneenhoitaja. Koneenhoitajan vastuulla on koneen käynnistys, linjan säätö ajon aikana, mahdollinen levyrullan vaihto, laadunvalvonta ja muotinvaihdot. Joillakin koneenhoitajilla on useita koneita samaan aikaan hoidettavana. Koneenhoitaja pitää kirjaa koneen seisakeista ja hukan määrästä, ja raportoi ne vuoron lipuksi tiedonkeruuseen. Koneenhoitaja saa tehtäviinsä apua muilta koneenhoitajilta tai koneryhmän ryhmävastaavalta. Joissakin tapauksissa koneenhoitaja myös pakkaa tuotetta itse, jos koneen nopeus antaa siihen mahdollisuuden. Koneen rikkoutuessa kunnossapito vastaa korjaustoimenpiteistä yhdessä koneenhoitajan kanssa.

Joillakin linjoilla on erillinen pakkaaja. Pakkaajaa tarvitaan, jos yhdellä koneenhoitajalla on vastuullaan useampi kone. Erillistä pakkaajaa tarvitaan myös silloin kun tuotteen laatu vaatii erityistä huomiota ja koneenhoitaja ei ehdi sekä hoitamaan konetta, että pakkaamaan vaativaa tuotetta. Pakkaajan tehtäviin kuuluu pakkaamisen lisäksi laadunvalvonta, sekä tiedonkeruun täyttäminen koneen seisakeista ja hukasta.

Painokoneen toiminnasta vastaa tuotekäsittelijä. Tuotekäsittelijä säätää painatusta ja valvoo tuotteiden laatua ja kirjaa seisakit painokoneella. Tuotekäsittelijä saa apua vastaavalta painoasentajalta. Painoasentaja hoitaa painokoneiden tuotteen vaihdot, ajon aloitukset ja auttaa tuotekäsittelijää kuvan säädöissä.

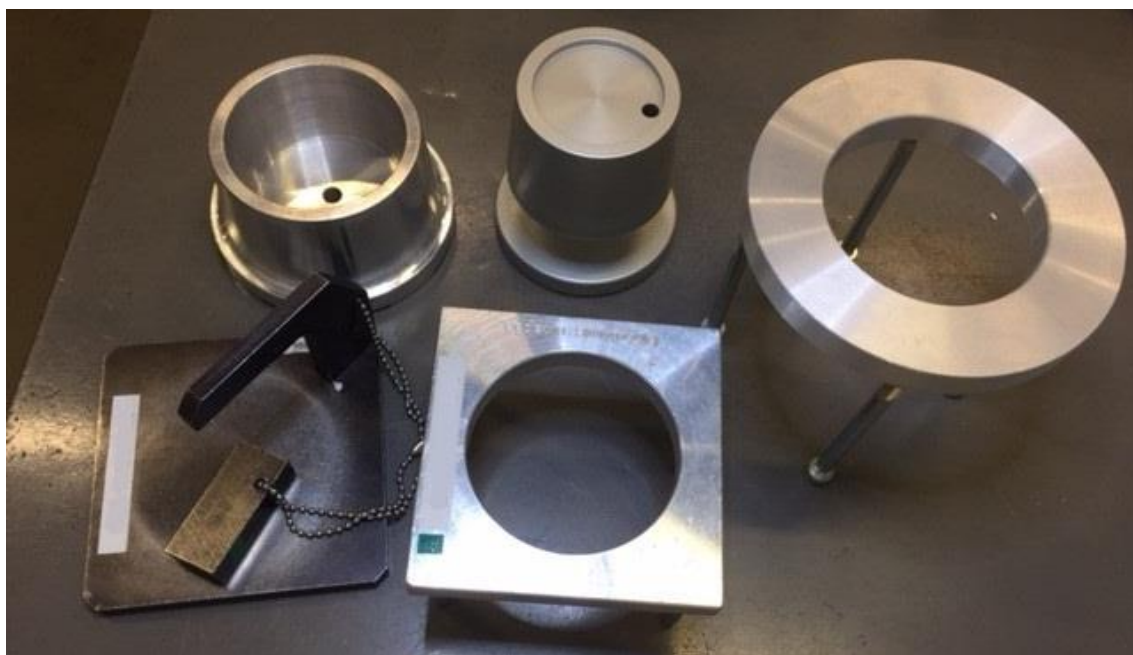
3.6 Laadunvalvonta

Tehtaan kaikilla linjoilla laadunvalvontaa hoitaa joko koneenhoitaja, pakkaaja tai tuotekäsittelijä. Päivävuorossa on paikalla laatuvaastaava, joka käy aamulla läpi laatukaappiin jätetyt näytteet. Kaappiin jätettävä näyte on yksi pikari jokaisesta muotin pesästä ja näyte jätetään vain aamuvuorosta. Pesällä tarkoitetaan muodonantomuotin aukkoa, eli näyteotanta kattaa yhden muotin iskullisen tuotetta Laadunvalvonnan toimenpiteet jakautuvat vuoron alussa, kahdesti vuorossa tai joka tunti tehtäviin tarkastuksiin. Lämpikäydyt toimenpiteet merkitään tehdyiksi laatukorttiin, johon myös kirjoitetaan havaitut poikkeamat. Laatukortti on personoitu eri linjatyypeille, sekä pakkaajille ja koneenhoitajille. Laatuvaastaava käy aamulla läpi palautetut laatukortit ja kirjaa huomiota vaativat poikkeamat laaturaporttiin. Jos asiakkaalta tulee tuoterekламаatio, voidaan laatukorteista etsiä syytä laatuvalle.

Laatuhavainnot jaetaan kolmeen osaan: omiin, sisäisiin ja ulkoisiin havaintoihin. Oma laatuhavainto on linjalla tehty havainto, joka on merkitty laatukorttiin. Laatupoikkeama on huomattu, ennen kun se on kulkeutunut tehtaalla toiselle linjalle tai asiakkaalle. Omat laatuhavainnot ovat tärkeitä, koska niillä vika saadaan korjattua nopeasti ja vältetään lisätyöltä seuraavassa työvaiheessa. Sisäisessä laatuhavainnossa tuotetta on pakattu

linjalla kelpaavana tuotteena ja laatuhavainnon tekee joko toinen linja tai laatuvalvastaava. Toisella linjalla tarkoitetaan esimerkiksi painokonetta, jolle puolivalmiit pikarit kulkeutuvat varastosta. Painokoneella merkitään laatukorttiin selostus laatupoikkeamasta puolivalmiissa pikarissa. Laatuvalvastaava voi tehdä sisäisen havainnon näytekaappiin jätetyistä näytteistä. Sisäinen havainto ei enää auta korjaamaan vikaa, sillä puolivalmiit tuotteet ovat jo siirtyneet varastoon. Näillä havainnoilla kerätään tilastoa sisäisten laatuhavaintojen määrästä ja niistä koostuu tämän hetkinen laadun mittari. Ulkoisilla havainnoilla tarkoitetaan asiakkaan lähettämää reklamaatiota tai huomautusta laadusta. Niitä tulisi tietenkin välttää ja poikkeamien toivotaan jäävän kiinni jo kahdella edellisellä havaintotyyppillä. Kun asiakas lähettää reklamaation tai huomautuksen, voidaan sisäisistä ja omista laatuhavainnoista tarkistaa kyseisen tuotteen merkinnät, ja selvittää mistä reklamaation aiheuttanut vika johtuu.

Pikarilinjalla jokaisen vuoron alussa tai muotinvaihdon jälkeen tarkistetaan pikaripinon korkeus ja kappalemäärä. Kone pinoaa pikareita aina siihen asetetun määrän, ennen kun ne siirtyvät pakattavaksi, joko käsin tai automatisoidusti. Pikarin mittojen tarkistamiseen on useita erilaisia tulkkeja, joista näkyy esimerkkejä kuvassa 9.



Kuva 9. Erilaisia tulkkeja pikarien laadun tarkastamiseen

Kaksi kertaa vuorossa otetaan näyte jokaisesta pesästä. Näytteistä tarkistetaan tulkilla tuotteen korkeus ja punnitaan paino. Myös saumaustasojen paksuus, materiaali jakauma ja soikeus tarkistetaan niiden tarkastuksiin sopivilla välineillä. Koska pikarikoneilla valmistetaan myös käytettävä levy, tarkistetaan levyn pinnan laatu ja paksuus. Kerran tunnissa tulisi ottaa näyte joka pesästä, ja tarkastaa visuaalisesti tuotteen: puhtaus, väri, pinon suoruus, muotoutuminen, saumaustasojen tasaisuus ja materiaali jakauma. Tarkastuksen jälkeen näytteet hävitetään.

3.7 Muut avustavat toiminnot

Tuotantolinjoilla on käytössä materiaalin kierrätys. Muodonannossa levystä jäävä ylimääräinen reuna eli *Skeleton*, menee murskaimeen. Murskaimen kyljessä on aukko, johon kaikki puhtaat vialliset kappaleet syötetään. Murskaimelta rouhe siirtyy putkea pitkin joko säkkiin tai siiloon, josta se otetaan uudelleen käyttöön. Levynvalmistuksessa käytetään tietyn reseptin mukaan tehtaalla kerättyä rouhetta ja uutta muovirouhetta. Painokoneilla viallisia painettuja tuotteita ei voi enää palauttaa kiertoon, vaan ne laitetaan energiajätteeseen. Myös kaikki likaiset tuotteet, esimerkiksi lattialle pudonneet, laitetaan energiajätteeseen. Hukan laskennassa nämä painatetut ja likaiset tuotteet erotellaan puhtaista materiaalin kiertoon menevistä.

Pikarilinjoiilla on paljon automatisoituja toimintoja. Puolivalmiit tuotteet siirtyvät tuotantolinjalta muovisiin laatikoihin eli pulkkiin. Jokaisessa pulkassa on viivakoodi, jonka avulla tuotteita pystytään seuraamaan. Järjestelmään kirjautuu myös tuotteen valmistanut kone ja valmistuspäivä, mahdollisia selvityksiä varten. Automatisoitu järjestelmä kuljettaa tyhjiä laatikoita koneelle ja täysiä laatikoita koneelta pois katossa kulkevia hihnoja pitkin. Täydet pulkat siirtyvät varastoon, josta ne tilataan painokoneille tarpeen vaatiessa. Painokoneilla puolivalmiit pikarit siirtyvät pulkista koneellisesti painatukseen. Painatuksen jälkeen ne pakataan automatisoidusti pahvilaatikoihin. Jos automaatio ei jostain syystä toimi, tuotteet puretaan ja pakataan käsin.

4. ONGELMIEN MÄÄRITTELY (DEFINE)

Kohdeyrityksessä on ongelmia sisäisessä laadunhallinnassa. Osastojen välillä kulkevien puolivalmiiden tuotteiden laatuun ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota, eikä ongelmien hallintaan tai havaitsemiseen ole olemassa oikeanlaisia työkaluja. Ongelmat ovat käyneet ilmi dekorointiosastolla tehdyistä laatuhavainnoista, sekä työntekijöiden palautteesta osastojen aluevastaaville. Tässä tutkimuksessa asiakas on yrityksen sisällä puolivalmiin tuotteen jalostava kone, mutta myös ulkoinen asiakas otetaan huomioon. Käytännössä ongelma esiintyy suurina määrinä huonoja puolivalmiita tuotteita, jotka eivät ole kelvollisia seuraavaan tuotannon vaiheeseen. Viallisten puolivalmiiden tuotteiden määrä ei ole tiedossa, koska niitä ei erotella koneella aiheutuneesta hukasta. Ongelmien juurisyytä on vaikea löytää, koska kerätty tieto on rajallista ja vaikeasti käsiteltävässä muodossa.

Tiedonkeruussa on puutteita kerätyn tiedon tarkkuudessa ja luotettavuudessa. Ilman kunnollista tiedonkeruujärjestelmää on vaikea selvittää ongelmien laajuus ja aiheuttaja. Laatuhavaintoja kirjataan jokaisessa vuorossa, mutta niiden käsitteleminen ja tarkastelu jälkikäteen ovat erittäin hankalia. Sisäiselle laadulle on tehdas- ja ryhmätaululla mittari, joka perustuu sisäisten laatuhavaintojen määrään viikoittain. Se ei kuitenkaan auta ongelmien ratkaisuun, koska mistään ei ole suoraan nähtävissä kokonais kuvaa havaintojen kohteista.

Tämän tutkimuksen kohteeksi valittiin pikarikoneiden ja dekorointiosaston väliset laatuongelmat. Huonoja puolivalmiita pikareita on paljon ja joitakin epäkelpoja tuotteita saattaa olla varastossa useamman vuoron tuotannon verran. Vialliset puolivalmiit joudutaan valikoimaan hyvien joukosta painokoneilla käsin. Edellä mainitut ongelmat vaikuttavat tuotannon tehokkuuteen ja aiheuttavat rahallista menetystä. Sisäiset laatuongelmat vaikuttavat myös ulkoiseen asiakkaaseen, jos esimerkiksi viat jäävät dekorointiosastolla huomaamatta ja pääsevät asiakkaalle asti.

Tavoitteena on kehittää sisäisen laadunhallinnan seurantaan mittari, jonka avulla seurataan nykytilaa ja tutkitaan mennyttä. Mittarin tulisi nostaa esille ongelmat sisäisessä laadussa ja auttaa kohdistamaan korjaavat toimenpiteet oikeaan kohteeseen. Tämän lisäksi pyritään löytämään sisäisen laadun ongelmien aiheuttajia pikarilinjilla, sekä löytämään niille korjaavia toimenpiteitä.

4.1 Tiedonkeruu

Sähköinen tiedonkeruu on ollut tuotannossa käytössä tammikuusta 2016 lähtien. Aikaisemmin kaikki tiedot kirjattiin käsin paperille ja kopioitiin koneelle myöhemmin. Uuden tiedonkeruujärjestelmän kaikkia mahdollisuuksia ei ole hyödynnetty, vaan se on jätetty perustasolle. Erityisesti koneilla aiheutuneen hukan laskeminen ja kirjaaminen työntekijöiden toimesta ovat epätarkkoja. Epätarkkuus huomataan, kun verrataan koneilla merkittyä hukan määrää materiaalinkulutuksesta laskettavaan hukkaan. Sisäisen laadun ongelmiin puuttuminen vaatisi tarkempaa tietoa hukasta, ja siksi tässä tutkimuksessa keskitytään tuotannon hukan raportoimisen kehittämiseen. Tarkemmalla datalla mahdolliset ongelmakohdat voitaisiin paikantaa tehokkaammin.

Tuotannon tiedonkeruussa ei erotella hukkaa sen aiheutumisen perusteella. Painon työntekijät merkitsevät varastosta tulleet huonot puolivalmiit tuotteet yhteen omalla linjallaan aiheutuneiden laatuvirheellisten kanssa. Toisen osaston tekemät laatuhavainnot eivät kerro viallisten kappaleiden määrää, joten pikarilinjoiden tekemien viallisten kappaleiden määrä jää piiloon. Myös muodonannossa hukalla on eri aiheuttajia, joita ei erotella. Esimerkiksi levyn laatu, linjan käynnistykset ja laatuvirheet aiheuttavat hukkaa. Jos jonkun koneen hukan määrää haluttaisiin vähentää, on kerätyn tiedon perusteella erittäin vaikea tehdä päätelmiä hukan aiheuttajasta. Kuvassa 10 näkyy, kuinka nykyisessä tiedonkeruussa hukasta erotellaan vain materiaalikiertoon murskattavat puhtaat kappaleet eli uudelleenkäytettävät ja epäpuhtaat, eli suora hävikki.

Tuotannon seurannan kirjaaminen, Viimeistely (4/4)

Kone TESTI Vuoro A

Vuoron tulokset

Valmistuneet 0 kpl

Hukka

uudelleenkäytettävä 0

suora hävikki 0

Iskut 0.0 iskua/min

Vaihdot 0

Vuorossa aloitettujen vaihtojen lukumäärä

Edellinen ☒ Näytä yhteenveto Tallenna ja viimeistele

Kuva 10. Hukan kirjaaminen tiedonkeruussa ennen muutoksia

Toinen tiedonkeruun ongelma on, että lasketun hukan määrä voi erota paljonkin todellisuudesta. Tuotetta pakkaavat henkilöt arvioivat hukan määrää vuoron aikana käsin pa-

perille. Kiireen keskellä voi hukka jäädä merkitsemättä ja yksittäisten kappaleiden määrää on vaikea arvioida. Näin ollen arvion tarkkuus vaihtelee huomattavasti laskijasta ja päivästä riippuen. Hukka on mahdollista laskea tarkemmin koneen käyntiajasta, mutta tätä keinoa käytetään harvoin. Hukka saadaan laskettua myös prosessiin menevän materiaalin ja valmistuneiden kappaleiden määrästä. Toimihenkilöt käyttävät näin laskettua hukkan määrää, joka eroaa paljon koneilla lasketusta hukasta. Näin ollen koneella laskettua tietoa hukkan määrästä ei tällä hetkellä käytetä.

4.2 Laadun tiedonjako

Sisäisestä laadusta kerätty tieto on puutteellista ja hankalassa muodossa. Tuotantolinjoilla käsin kirjoitetut laatuhavainnot kerätään päiväkohtaisiin raportteihin ja raportit tulostetaan kahvihuoneen pöydälle nähtäväksi. Koska tiedot on laitettu erillisiin tiedostoihin, on niitä mahdotonta analysoida jatkossa isompana otantana. Näin ollen laadusta on vaikea tehdä yhteenvetoa tai havaita mahdollisia toistuvuuksia laatuun liittyvissä ongelmissa. Kun asiakas reklamoi tuotteesta, joudutaan mahdollisia syitä etsimään mapitetuista laatuksorteista. Laatuhavainnoista kerätään jonkinlaista tilastoa, mutta tilaston logiikka on hieman harhaanjohtava. Siinä painokoneilla tehty sisäinen laatuhavainto on merkitty myös painon omaksi laatuhavainnoksi. Eli sama laatuvirhe on tilastoissa kahteen kertaan ja se on kohdistettu myös havainnon tehneeseen linjaan. Tällä on pyritty luomaan mittari, joka kuvaisi linjan aktiivisuutta havaintojen tekemisessä, mutta mittari ei kerro mitään linjan omasta laadusta. Viallisen puolivalmiin tuotteen tai levyn valmistaneen koneen henkilökunta saa tietoonsa sisäisen reklamaation tuotteesta, mutta tuote on valmistettu jo useita päiviä tai viikkoja aikaisemmin. Näin ollen mitään välittömiä parannuksia ei voida tehdä, vaan tieto olisi enemmän tarpeellinen myöhemmin, kun vastaava tuote on taas tuotannossa. Linjalla laatuhavaintojen tietoja ei enää myöhemmin käytetä.

Tehdastaululla ja ryhmätaululla on paljon tietoa erilaisina manuaalisesti täytettävänä visuaalisina mittareina. Sisäinen laatu on merkitty viikoittaisten laatuhavaintojen määränä. Tämä ei kuitenkaan anna realistista kuvaa sisäisen laadun tilasta, koska havaintokerta ei kerro huonon tuotteen määrästä, ja näin ollen sen aiheuttaneen haitan laajuudesta. Konekohtainen mittari sisäisten laatuhavaintojen määrästä ei auta ratkaisemaan ongelmia linjalla. Vaikka nähtäisiinkin, että tietyllä linjalla on paljon laatuongelmia, ei mihinkään ole tilastoitu tietoa, jonka avulla syy voitaisiin selvittää.

4.3 Huonot puolivalmiit

Sisäisen laadunhallinnan ongelmat käyvät käytännössä ilmi huonoina puolivalmiina tuotteina. Tutkimuksen käytännönkohteeksi valittiin pikarilinjat, koska niissä sisäisen laadun ongelmia ilmenee erityisen paljon. Painokoneiden ja yhdistelmäpakkaus koneiden työtä haittaa puolivalmisvarastosta saapuvat vialliset puolivalmiit pikarit. Joskus

huonoja tuotteita on mennyt varastoon useamman vuoron ajan. Tämä aiheuttaa paljon lisätyötä ja lisähukkaa painokoneille. Jotkin laatuvirheet eivät välttämättä vaikuta loppuasiakkaaseen, mutta vaikuttavat painatukseen ja joissakin tapauksissa pysäyttävät linjan.

Pikarilinjalla valvotaan laatua säännöllisesti, mutta siitä huolimatta paljon huonoja tuotteita pääsee varastoon. Pikarilinjalla on paljon automatisoituja toimintoja, mikä omalta osaltaan vaikuttaa laadunvalvonnan haastavuuteen. Puolivalmiiden pikarien tarkempi prosessikuvaus esitetään tutkimuksen analyysivaiheessa. Jotkin laatuvirheet ovat esiintyneet tuotannossa jatkuvina useamman vuoron ajan, joten ne olisi pitänyt havaita tunneittain otetuissa näytteissä. Valvontaa vaikeuttaa myös automatisoitu varastointi. Kun laatuvirhe huomataan, on osa keltottomista puolivalmiista pikareista jo kulkeutunut automaattisesti varastoon. Koska keltottomien tuotteiden tuotannon määrä ei ole tiedossa, on ne vaikea poistaa varastosta. Tuotteiden poistaminen varastosta on aikaa vievää ja vaatii erillisen henkilön sitä suorittamaan. Tällaisia puolivalmiiden tuotteiden varastosta poistamisia ei juurikaan tehdä. Puolivalmiit tuotteet saattavat olla varastossa useita viikkoja ennen kuin niitä tarvitaan painokoneilla. Pikarit siirtyvät varastosta painoon FIFO –periaatteen mukaisesti, eli vanhimmasta tuoreimpaan. Kun vialliset puolivalmiit havaitaan painokoneella, on tuotteen valmistus pikarikoneella jo päättynyt.

Huonot puolivalmiit aiheuttavat paljon hukkaa ja lisätyötä, jotka kertyvät dekorointiosastolle. Sisäinen laatu vaikuttaa myös loppuasiakkaaseen, koska todennäköisyys tuotannosta läpi pääseville huonoille tuotteille kasvaa. Saman työn useampaan kertaan tekeminen ei ole koskaan hyvä asia. Koska huonosti muotoutuneet tuotteet palautetaan materiaalin kiertoon, niihin jo sitoutuneen työn ja resurssien käytön arvoa ei valitettavasti huomioida tarpeeksi. Kun kaikki lisätyö kasaantuu painoon, se aiheuttaa kiirettä, joka puolestaan heikentää painatuksen laatua. Sisäisen asiakkaan eli dekorointiosaston tulisi saada mahdollisimman hyvälaatuisia puolivalmiita pikareita, jotta osastolla voitaisiin keskittyä painatuksen laatuun.

4.4 Ongelmien yhteenveto

Taulukkoon 4 on koottu luvun 4 ongelmien kuvaus, sekä kerrottu niiden oletetuista vaikutuksista kohdeyrityksen toimintaan.

***Taulukko 4.** Yhteenveto luvussa 4 käsitellyistä ongelmista ja niiden vaikutuksista*

| Ongelma | Ongelman kuvaus | Vaikutus |
|----------------------------------|---|---|
| Tiedonkeruun epätarkkuus | Hukan kappalemäärä laske- taan käsin ja arvio ei vastaa todellisuutta | Laskettuun arvioon ei luoteta ja se jää hyödyntämättä |
| Hukan jaottelun sopimattomuus | Edellisessä työvaiheessa ai- heutunutta huonoa laatua ei erotella koneen omasta hu- kasta | Edellisen työvaiheen oikea hukka jää piiloon ja todellisia ongelmia ei havaita |
| Huono laadun tiedonjako | Laatuhavainnot kirjataan vai- keasti käsiteltävään muotoon ja tilastoidaan epäloogisesti | Laadusta saatava tieto on epäinfor- matiivista ja se ei auta laatuongel- mien selvittämisessä |
| Huonot puoli- valmiit pikarit | Pikarilinjoiden laadunvalvon- nasta huolimatta dekorointi- osasto kärsii huonoista puoli- valmiista pikareista | Viallisista puolivalmiista pikareista aiheutuu paljon lisätyötä ja hukkaa. Dekorointiosaston tehokkuus kärsii. Todennäköisyys huonolaatuisten tuotteiden kulkeutumiseen loppu- asiakkaalle kasvaa. |

5. LÄHTÖTILAN MITTAUS (MEASURE)

Tässä luvussa keskitytään pikarilinjoiden ja dekorointiosaston toiminnan mittaamiseen. Tiedonkeruun ja tiedonjaon ongelmat eivät ole suoraan mitattavissa, vaan niiden kehitys näkyy parempilaatuisena datana. Tiedonkeruun ja laadun tiedonjaon kehitys toimii ikään kuin käytännönongelman datankeräyssuunnitelmana.

Puutteellisesta tiedonkeruusta johtuen, osa tarpeellisesta tiedosta ei ole tutkimuksen alussa suoraan saatavilla. Olemassa olevasta datasta kerättiin yhteen tietoja laadusta, valmistusmäärästä ja hukan määrästä pikarikoneilla ja dekorointiosastolla. Tiedot kerättiin vuoden 2016 tammikuun alusta lokakuun loppuun. Kriittisiä ominaisuuksia ei vielä tässä vaiheessa karsita, vaan mukaan otetaan kaikki saatavilla oleva tieto. Keskeisin ominaisuus on tietenkin laatu, mutta koska sitä on suoraan vaikea mitata, otetaan kaikki siihen mahdollisesti vaikuttavat tekijät mukaan.

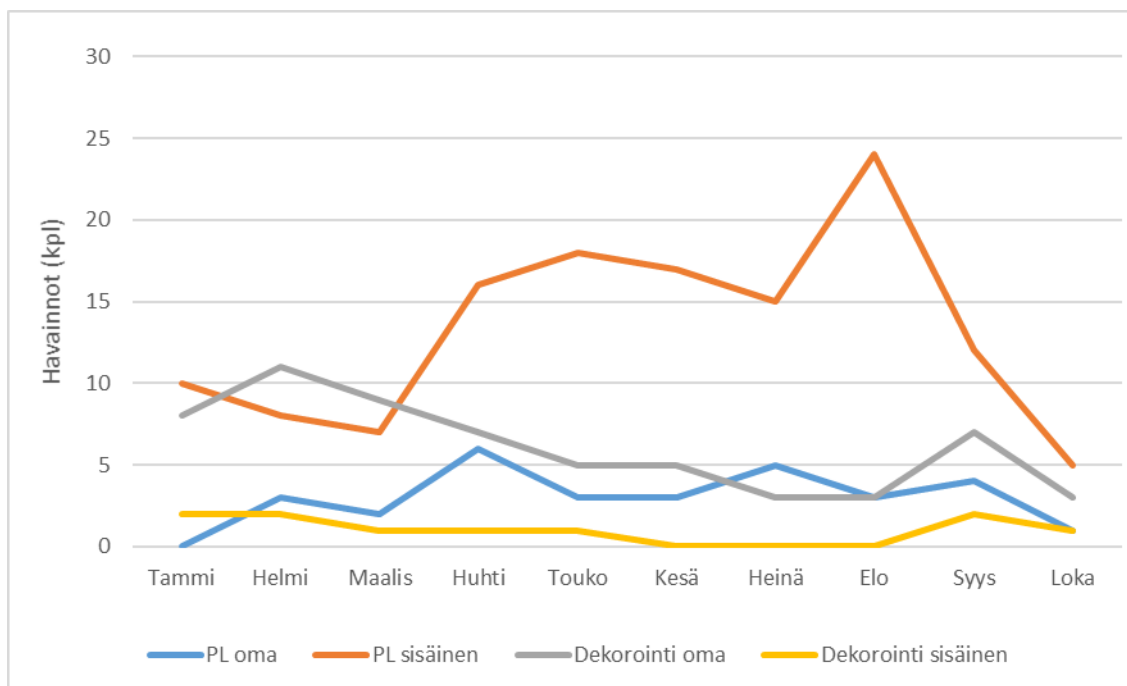
5.1 Laatuhavainnot

Linjoilla tehdyistä laatuhavainnoista kerättiin pikarilinjoiden, painokoneiden ja yhdistelmäpakkaus-koneiden laatuhavainnot yhteen taulukkoon. Vuonna 2016 lokakuun loppuun mennessä havaintoja oli yhteensä 265 kappaletta. Laatuhavaintojen määrä ei kuitenkaan kerro viallisten kappaleiden määrästä, vaan yhteen havaintoon voi sisältyä esimerkiksi 10 tai 1000 viallista tuotetta. Taulukossa havainnot jaoteltiin koneen, tuotemallin, vian, päivämäärän ja havainnon tyyppin mukaan. Sisäisissä laatuhavainnoissa kirjattiin ylös huonon laadun aiheuttanut kone, sekä kone, jolla havainto tehtiin. Tutkimuksessa keskitytään pikarilinoista tehtyihin sisäisiin laatuhavaintoihin, koska työssä tutkitaan sisäistä laatua. Sisäisen laatuhavainnon tekee dekorointiosaston henkilökunta tai laatuvaastava näytekaappiin jätetyistä pikareista.

Kootun taulukon sisällöstä suodattamalla koostettiin taulukoita koneittain, tuotemalleittain ja vikatyypeittäin. Datasta pyrittiin saamaan esille kaikki mahdollinen tieto, koska selvää ohjetta tutkimuksen kululle ei ollut.

5.1.1 Koneet

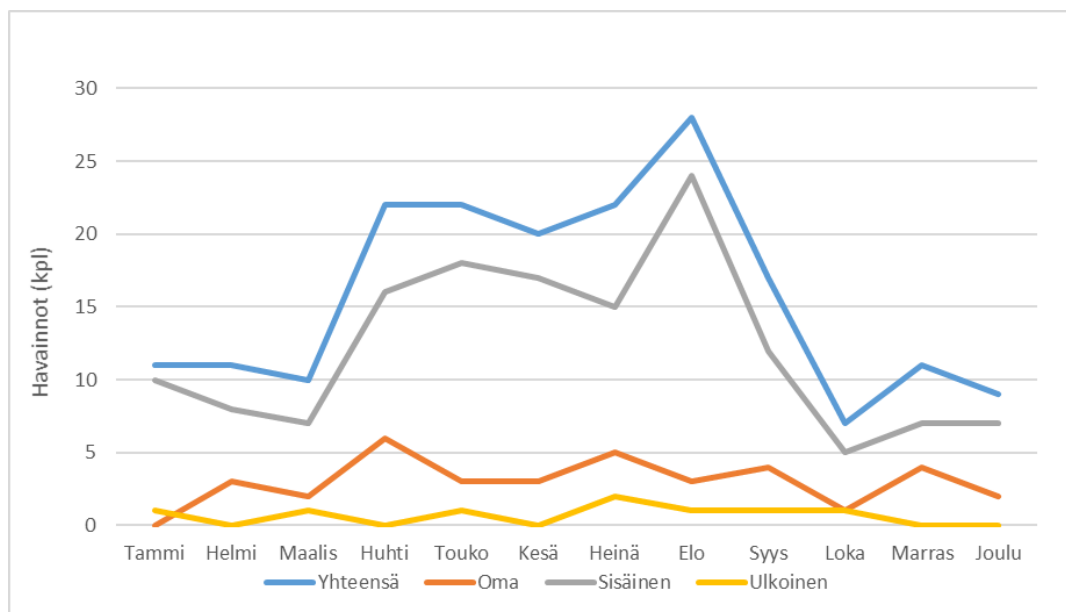
Tässä kappaleessa vertaillaan koneiden ja koneryhmien laatuhavaintojen määrää toisiinsa. Havainnot on jaettu kuukausittain omiin, sisäisiin ja ulkoisiin laatuhavaintoihin. Kuvassa 11 nähdään pikarilinjoiden omien ja sisäisten laatuhavaintojen määrä verrattuna dekorointiosaston koneiden vastaaviin määriin. Kuvasta nähdään, kuinka pikarilinjoiden sisäisiä havaintoja on huomattavasti muita havaintoja enemmän.



Kuva 11. Omat ja sisäiset laatuhavainnot pikarikoneilla ja dekorointiosastolla

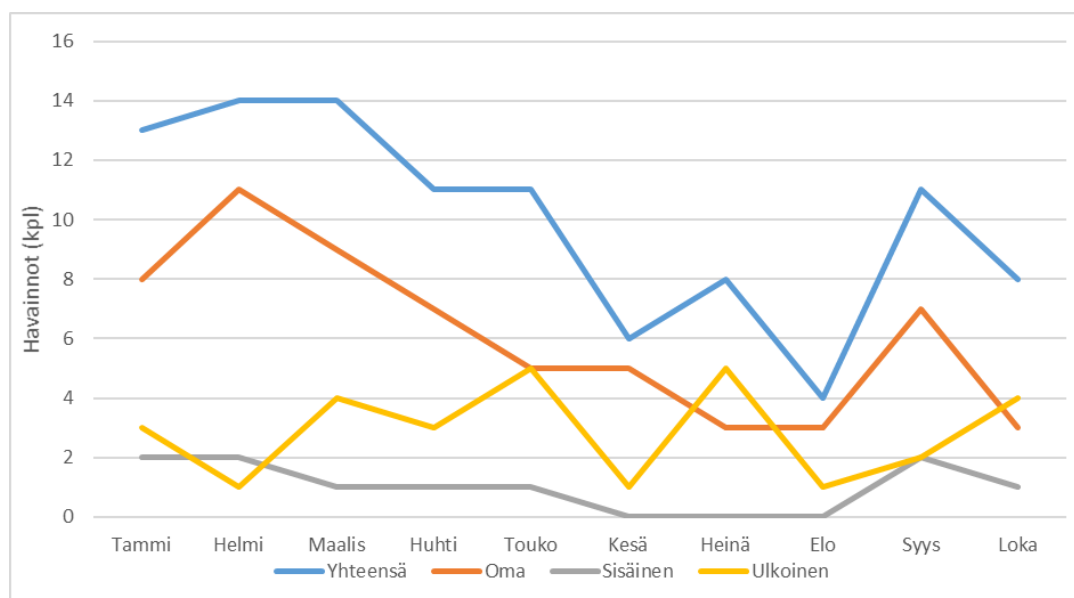
Pikarikoneilta tulee erittäin vähän omia laatuhavaintoja, mutta sisäisiä laatuhavaintoja tulee paljon. Kuvassa näkyvistä havainnoista eli pikarikoneiden, dekorointiosaston omista ja sisäisistä havainnoista 58 % on pikarilinjoista tehtyjä sisäisiä havaintoja. Dekorointiosaston sisäisten havaintojen määrään vaikuttaa se, että siitä sisäisiä havaintoja tekee ainoastaan laatuvaastava.

Kuvassa 12 on havaintotyyppin mukaan eroteltuna kaikkien pikarilinjojen laatuhavainnot. Kuvasta nähdään, kuinka pikarilinjoilla sisäisiä laatuhavaintoja on huomattavasti eniten. Noin 80 % kaikista pikarilinjojen laatuhavainnoista on sisäisiä laatuhavaintoja. Omia laatuhavaintoja tulee pikarilinjoilta vähän, mutta niin myös pikarilinjoihin kohdistuneita reklamaatioita.



Kuva 12. Laatuhavainnot pikarilinoilla erityyppisiin havaintoihin jaoteltuna

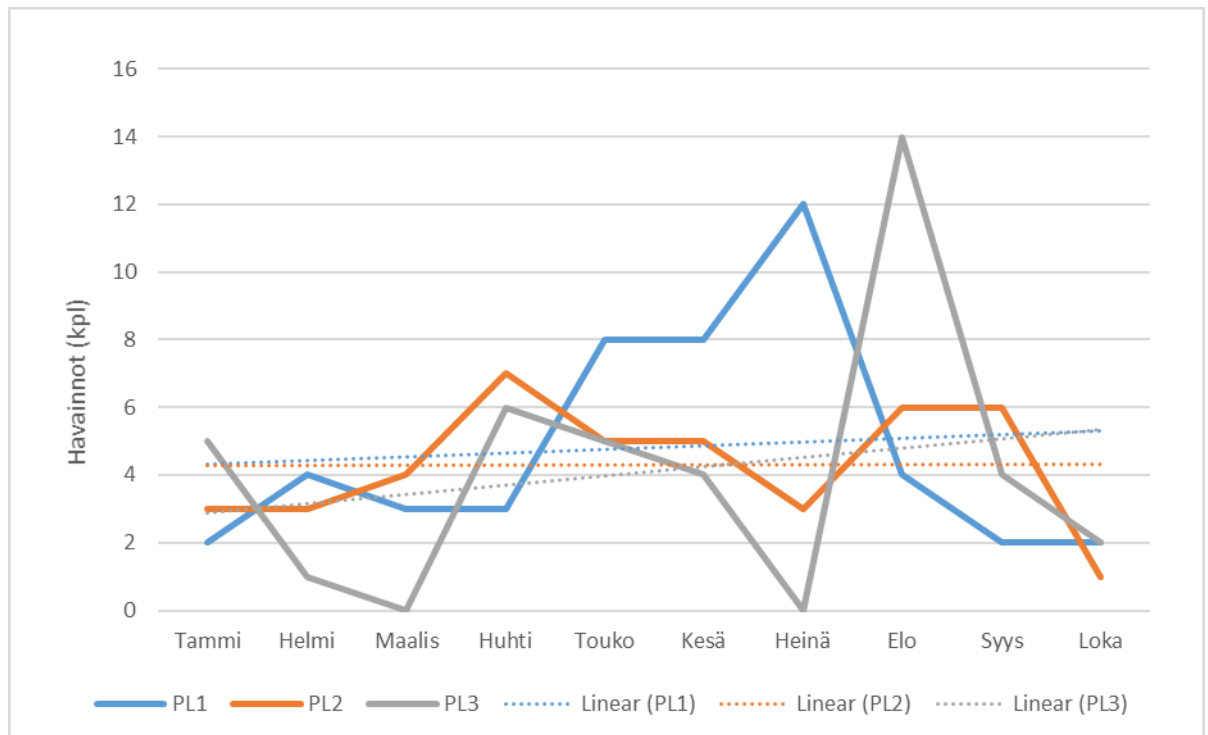
Eri linjatyyppien laatuhavainnot eivät ole vertailukelpoisia keskenään, koska pikarilinjat ja painokoneet ovat tuotantoketjun eri vaiheissa. Pikarikoneille tulee vain vähän ulkoisia laatuhavaintoja eli asiakkaan reklamaatioita, koska viat käyvät ilmi painokoneilla. Painokoneille tulee enemmän ulkoisia ja vähän sisäisiä laatuhavaintoja, koska kukaan ei enää tarkista uudelleen valmistettuja tuotteita ennen lopullista asiakasta. Kuvassa 13 dekorointiosaston vastaava jakauma.



Kuva 13. Laatuhavainnot dekorointiosastolla erityyppisiin havaintoihin jaoteltuna

Sisäisten havaintojen kokonaismäärä oli kaikilla pikarilinoilla samaa luokkaa. Pikarilinjaan 1 kohdistui 37 % kaikista sisäisistä laatuhavainnoista, pikarilinjaan 2 kohdistui 32 % ja linjaan 3 31 %. Havaintojen ajankohta kuukauden tarkkuudella vaihtelee kui-

tenkin hyvin paljon, mikä voidaan nähdä kuvasta 14. Havaintojen tasaisen jakautumisen pikarilinoille näkee myös kuvaajaan piirretyistä lineaarisovitteista.

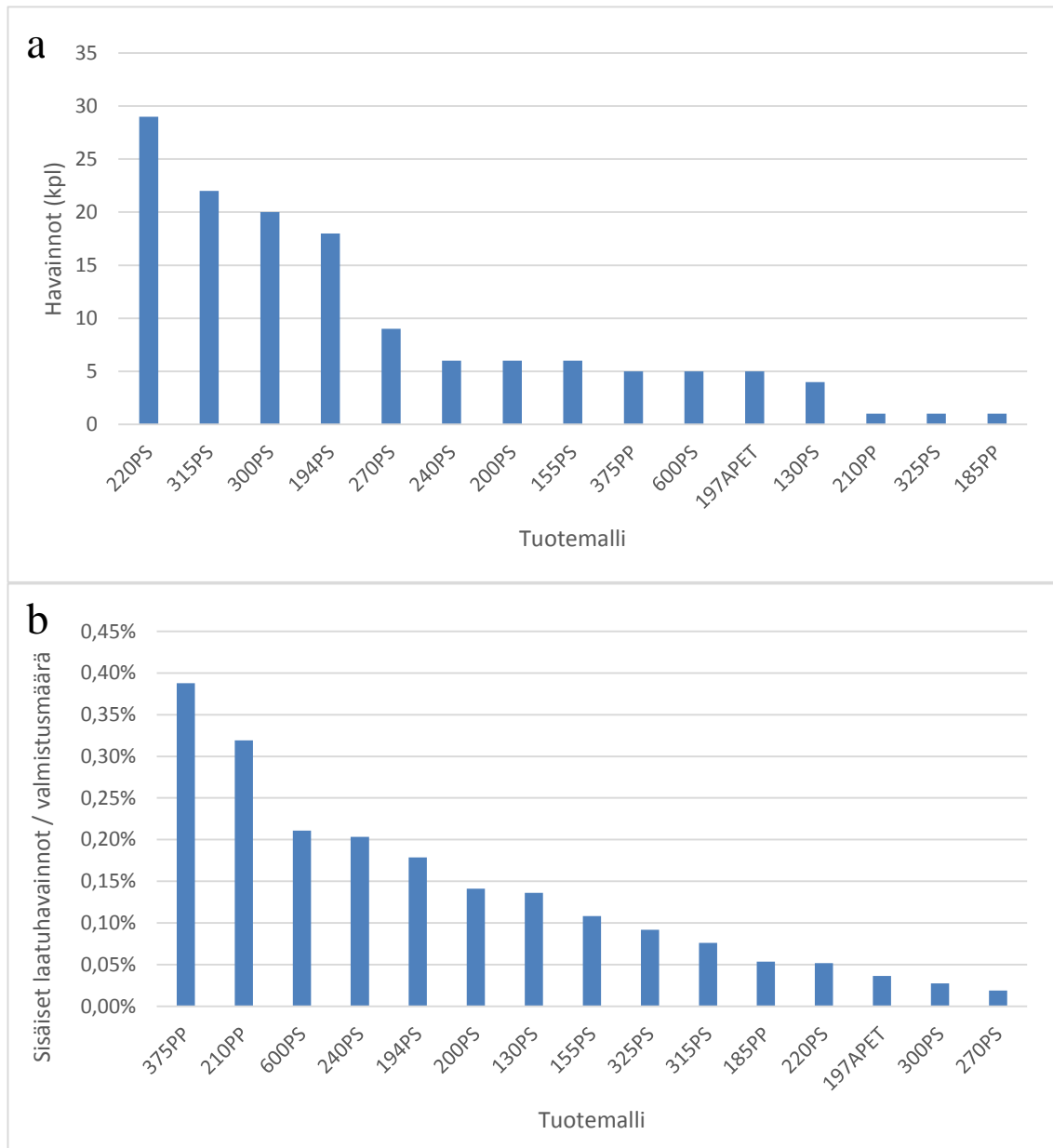


Kuva 14. Sisäiset laatuhavainnot pikarilinoilla ja niiden lineaarisovitteet

Piikit kuvaajassa johtuvat pitkään jatkuneesta samasta ongelmasta, jota ei ole korjattu esimerkiksi puuttuvan osan takia. Toinen syy on, että viallisten tuotteiden valmistusta on jatkettu pitkään vikaa huomaamatta ja tuotteita ei ole poistettu varastosta, vaan ne ovat myöhemmin siirtyneet painokoneelle.

5.1.2 Tuotemallit

Sisäiset laatuhavainnot jaoteltiin eri tuotemalleille valitulta ajanjaksolta. Tuotemaleista kuvaan valittiin 15, joilla oli sisäisiä laatuhavaintoja. Ulkopuolelle jäi viisi tuotemallia, joilla ei ollut lainkaan sisäisiä laatuhavaintoja. Sisäisten havaintojen jakautuminen eri tuotemalleille näkyy kuvassa 15a.



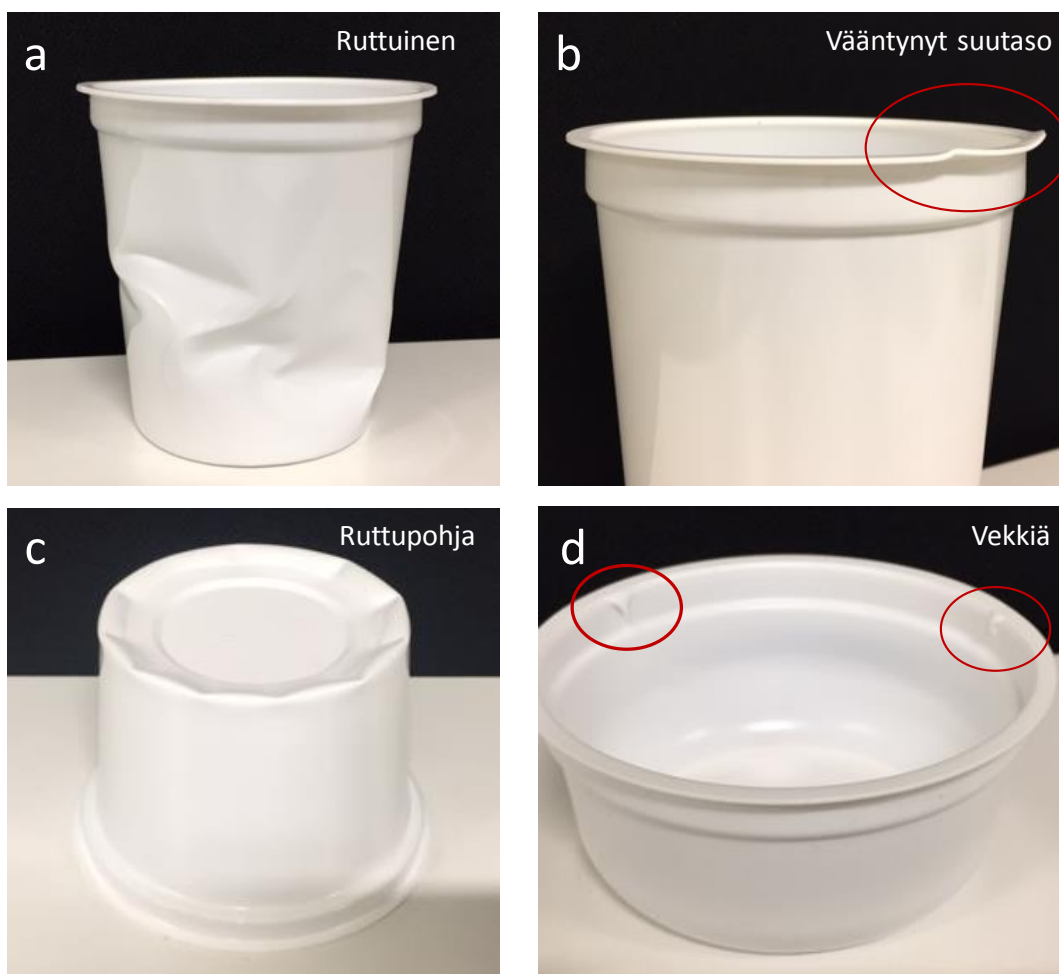
Kuva 15. Sisäiset laatuhavainnot tuotemalleittain ja suhteutettuna kyseisen tuotemallin valmistusmäärään

Tuotemalleittain laatuhavaintojen määrä vaihtelee huomattavasti. Eniten tätä selittää paljon vaihtelevat tuotantomäärät. Jos sisäisten havaintojen määrän suhteuttaa kunkin tuotemallin valmistusmäärään, muuttuu tuotemallien järjestys. Kuvassa 15b nähdään samojen tuotemallien sisäiset laatuhavainnot kuin kuvassa 15a, mutta suhteutettuna tuotemallikohtaiseen valmistusmäärään.

5.1.3 Vikatyypit

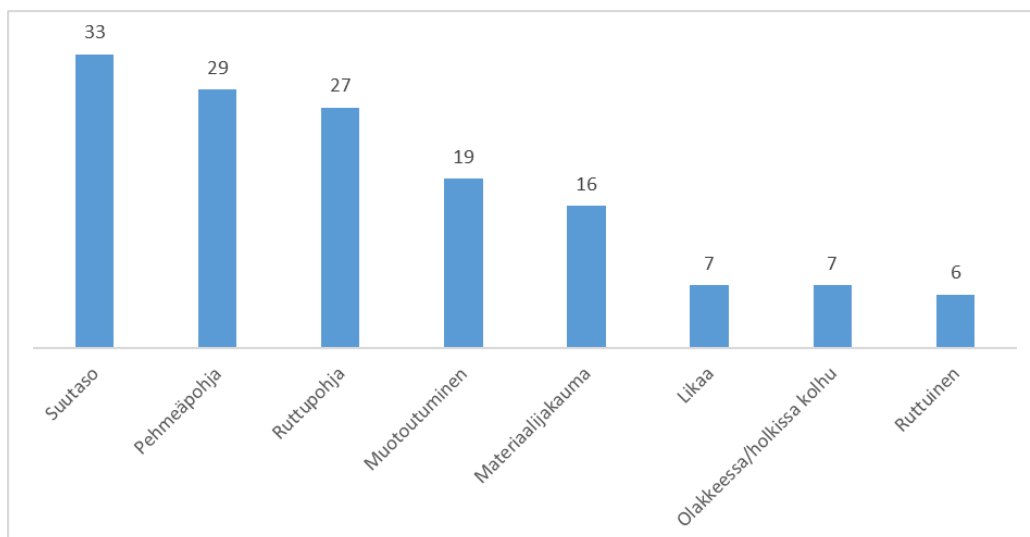
Laatuhavaintojen sanallisista kuvauksista jaoteltiin ongelmat tätä työtä varten kehitettyihin vikatyyppeihin. Jaottelun avulla on helpompi havaita kokonaisuuksia. Laatuha-

vainnoissa oli käytetty eri termejä samasta asiasta, joten nämä termit yhdenmukaistettiin. Kuvassa 16 on esimerkkejä havaituista laatuviotoista ja niille annetuista vikatyypinimistä, kuten ruttuinen purkki (kuva 16a).



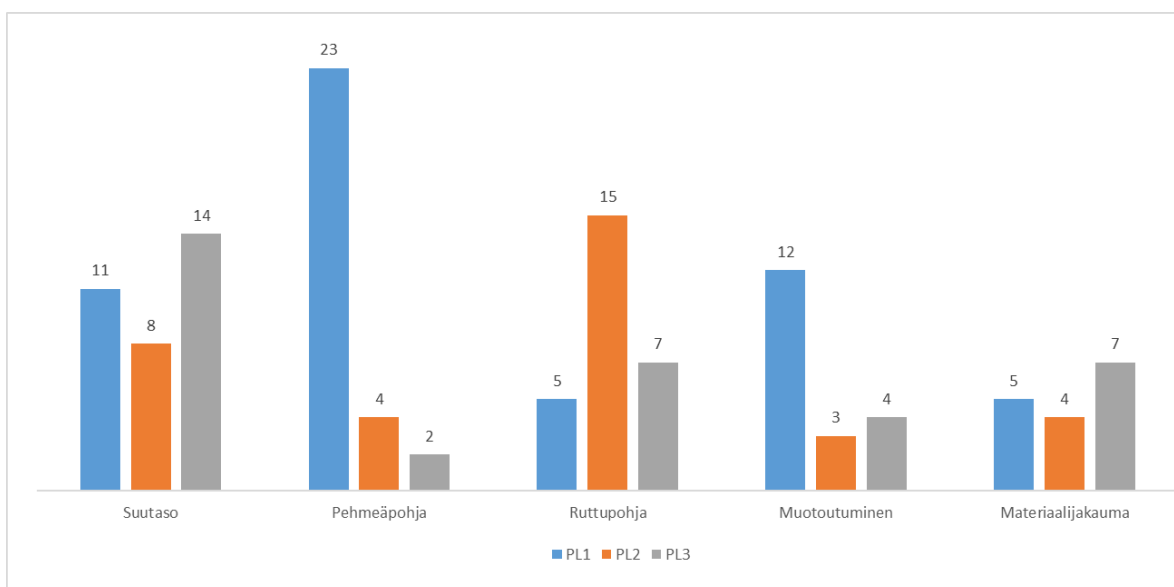
Kuva 16. Esimerkkejä pikareiden vikatyypeistä

Suutasossa esiintyy erilaisia laatuviotoja, ja yksi niistä on vääntynyt suutaso (kuva 16b). Suutasoa voidaan kutsua myös saumaustasoksi. Suutason viat on yhdistetty yhdeksi vikatyypiksi. Muita suutason vikoja ovat esimerkiksi: ohut kohta, puuttuu palanen ja halkinainen suutaso. Tästä ryhmästä on erotettu tuplasuutaso, joka tarkoittaa kahden pikarin kiinnittymistä sisäkkäin. Kuvassa 16c on ruttupohjainen pikari, jonka pohja on painunut sisään. Pikarien suutasoon voi muodostua myös niin sanottua vekkiä tai ryppyä (kuva 16d), mutta se ei kuulu pikarien hankalimpiin tai yleisimpiin ongelmiin. Vekki voi olla suutason päällä, jolloin pikariin ei voi saumata kantta. Kuvassa 17 on eri vikatyypien ilmenemismäärät kaikkien pikarilinjojen sisäisissä laatuhavainnoissa.



Kuva 17. Sisäisten laatuhavaintojen määrä pikarilinoilla vikatyypeistä, joita on ilmennyt enemmän kuin viisi kertaa tarkasteluaikana

Pehmeäpohjassa pohja on ohuempi kuin muu pikari. Pehmeäpohjat voisivat kuulua materiaalijakaumavikoihin, mutta ne on yleisyytensä takia pidetty erillään. Muotoutumisen alle kuuluu kaikki erikseen määrittelemättömät muotoutumisen ongelmat. Kuvasta on jätetty pois vikatyypit, joita on esiintynyt vähemmän kuin viisi kertaa. Jotkin näistä vikatyypeistä saattavat ilmetä useammin omissa laatuhavainnoissa, mutta tässä tutkimuksessa keskitytään sisäisiin havaintoihin, koska ne kertovat sisäisen laadun ongelmista. Kuvassa 18 on viisi eniten esiintynyttä vikatyypistä koneittain jaoteltuna.



Kuva 18. Koneittain jaoteltuna viiden eniten esiintyneen vikatyypin sisäisten laatuhavaintojen määrät

Eri vikatyypit jakautuvat koneille epätasaisesti ja jokaisen koneen yleisin vikatyyppi on eri. PL 1:llä se on pehmeäpohjaiset, PL 2:lla ruttupohjat ja PL 3:lla suutasoviat. Taulukossa 5 vikatyypit on jaoteltu tuotemallien mukaan.

Taulukko 5. Vikatyypien laatuhavaintojen jakautuminen tuotemalleille.

| Tuotemalli | Suutaso | Pehmeä-pohja | Ruttu-pohja | Muotoutuminen | Materiaali-jakauma | Lika | Ruttuinen |
|-----------------|-----------|--------------|-------------|---------------|--------------------|----------|-----------|
| 220PS | | 23 | 1 | 6 | 1 | | |
| 315PS | 5 | | 15 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 194PS | 12 | 1 | 1 | | 5 | 2 | 1 |
| 300PS | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | | |
| 240PS | 3 | | 1 | 3 | 1 | | |
| 200PS | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | | |
| 375PP | | 3 | 1 | | | | |
| 155PS | 3 | | | 1 | 2 | | 1 |
| 197APET | 1 | | | 1 | | 4 | |
| 270PS | | | 3 | 1 | 1 | | |
| 130PS | 2 | | | | 2 | | 1 |
| 600PS | | | | 1 | 2 | | |
| 185PP | | | | 1 | | | |
| Yhteensä | 33 | 29 | 27 | 19 | 17 | 7 | 6 |

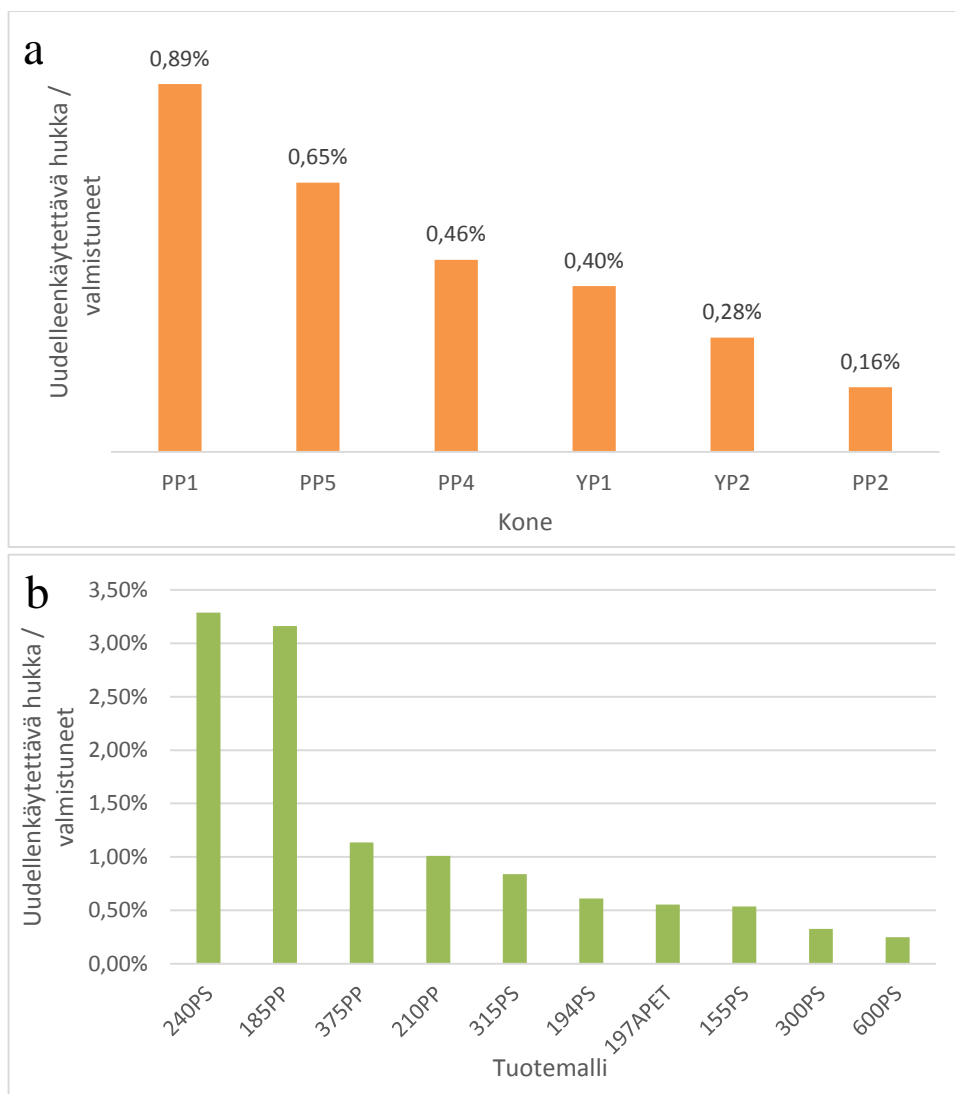
Taulukosta nousee esille tuotemalli 220PS ja vikatyypin ”pehmeäpohja”, joilla on sisäisiä havaintoja 23 kappaletta. Paljon havaintoja on myös tuotemallilla 315PS ja havainnolla ”ruttupohja” (15 kpl), sekä tuotemallilla 194PS ja havainnolla ”suutaso” (12 kpl). Samat tuotemallit valmistetaan yleensä samalla linjalla. Taulukon perusteella voitaisiin olettaa vikatyypin johtuvan tietyn linjan sijaan tietystä tuotemallista.

5.2 Viallisten puolivalmiiden määrä

Laatuhavaintojen määrä ei kerro viallisten tuotteiden kappalemäärästä, joten se selvitetään aiheutuneen hukan kautta. Viallisten puolivalmiiden kappalemäärästä ei kerätä tietoa, vaan painokoneella hukka jaotellaan ainoastaan uudelleenkäytettävään eli puhtaaseen hukkaan ja jo painettuun hukkaan, joka laitetaan energiajätteeseen. Oletetaan, että suurin osa puhtaasta hukasta olisi viallisia puolivalmiita, koska ne on hylätty jo ennen painokoneeseen syöttämistä. Osa viallisista puolivalmiista menee painokoneelle asti ja vika käy ilmi vasta painokoneen jumittuessa tai painon jälkeisessä laaduntarkastuksessa. Nämä vialliset puolivalmiit jäävät huomioimatta kappalemäärän arviossa. Arviolla pyritään saamaan jonkinlaista suuntaa sille, kuinka paljon viallisia puolivalmiita siirtyy painokoneille. Arviota käytetään ainoastaan tuotemallien tai koneiden vertaamiseen toisiinsa, joten sen antaman tarkkuuden oletetaan olevan riittävä.

Koska koneilla laskettua hukan määrää ei voida pitää luotettavana, arvioidaan siitä vain uudelleenkäytettävän ja poisheitettävän hukan suhde. Oletetaan, että painokoneilla puhdaina poisheitetyt pikarit olisivat viallisia puolivalmiita. Tarkempi arvio hukan kokonaismäärästä saadaan sisään menevän materiaalin ja valmistuneiden kappaleiden mää-

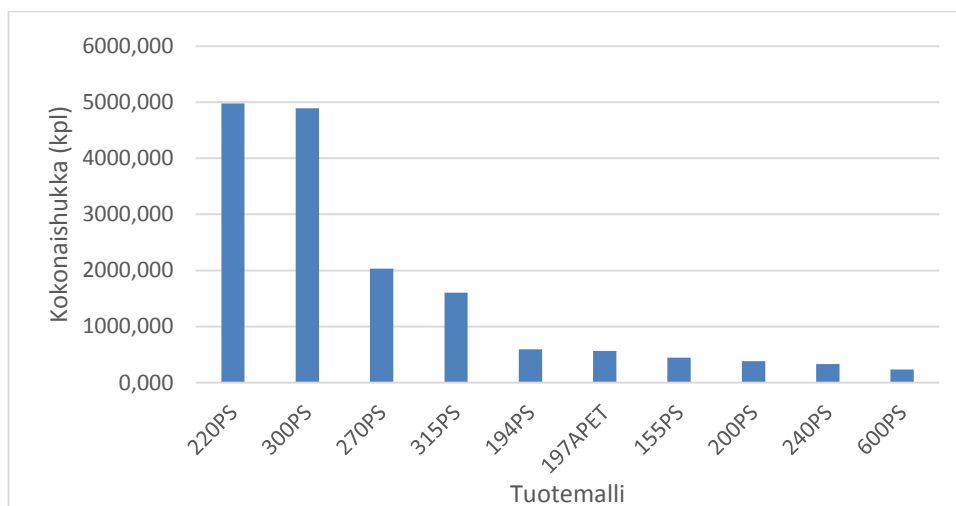
rästä. Nämä kaksi tiedonlähdettä yhdistämällä saadaan paras mahdollinen arvio uudelleenkäytettävän hukan määrästä. Kun tämä vielä suhteutetaan valmistuksessa kuluneiden kappaleiden määrään, saadaan realistinen vertailu tuotemallien ja koneiden uudelleenkäytettävästä hukasta. Kuvassa 19a uudelleenkäytettävä hukka konekohtaisesti ja kuvassa 19b tuotemallikohtaisesti.



Kuva 19. Arvio uudelleenkäytettävän hukan osuudesta suhteessa valmistukseen kuluneeseen materiaaliin koneittain (a) ja tuotemalleittain (b)

Uudelleenkäytettävän hukan kappalemäärän arviolla nähdään missä tuotemalleissa puhdasta hukkaa aiheutuu eniten eli ongelma vaikuttaa eniten. Arvio ei kuitenkaan kerro mitään viallisten puolivalmiiden pikarien määrästä. Arvioon vaikuttaa myös se, että eri tuotemalleilla painottuu erilaiset puolivalmiiden vikatyypit, joiden havaitsemisen helpous ennen painokonetta vaihtelee. Tämän takia otetaan huomioon myös dekorointiosaston kokonaishukka, sillä viallisten puolivalmiiden vähentyminen näkyy kokonaishukan vähentymisessä. Näin otetaan huomioon myös painokoneen sisään menneet vialliset puolivalmiit. Puhtaana materiaalinkiertoön syötetyistä tuotteista saadaan raaka-aineet

käytettyä uudelleen ja tuotteeseen sitoutunut työ, sekä muut kustannukset menetetään. Jo painetusta viallisesta tuotteesta menetetään myös materiaali, koska se päättyy energiajätteeseen. Kuvassa 20 näkyy dekorointiosaston kymmenen eniten kokonaishukkaa aiheuttanutta tuotemallia. Kaksi eniten hukkaa aiheuttavaa tuotemallia ovat suurivolyymisimmät tuotemallit.

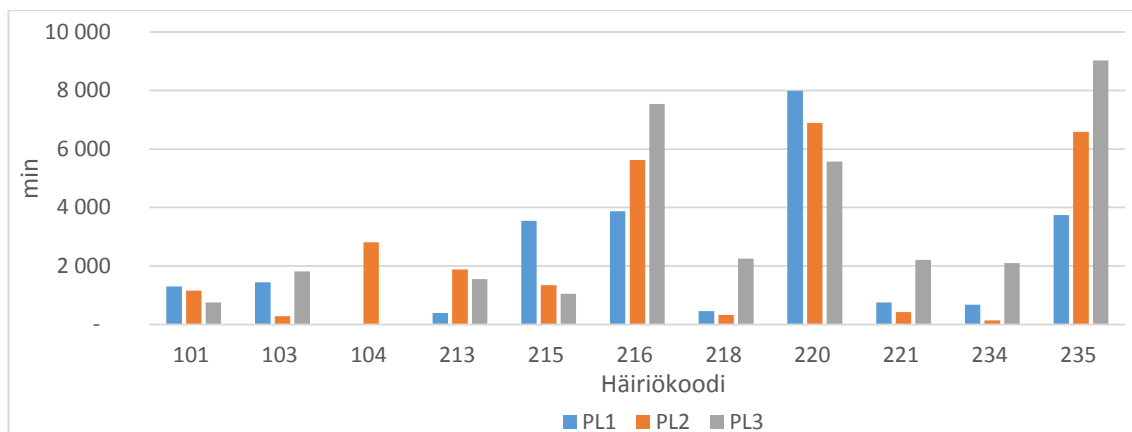


Kuva 20. Tuotemallien kokonaishukka dekorointiosastolla

Eri vikatyypeistä aiheutunutta hukan määrää yritettiin arvioida. Kuukausittainen uudelleenkäytettävän hukan määrä kulkee käsikädessä lisääntyvien laatuhavaintojen kanssa. Joissakin laatuhavainnoissa on kuitenkin mainittu useita eri vikatyyppejä, joten erilaisien vikatyyppeiden aiheuttamaa hukan kappalemäärää on hyvin vaikea arvioida. Joissakin tapauksissa laatuhavainnon ajankohtana ei havaittu lisääntymistä uudelleenkäytettävässä hukassa. Myös lisääntyneeseen hukkaan ei aina löytynyt selitystä laatuhavainnoista. Näin ollen eri vikatyyppeiden aiheuttaman hukan määrää ei pystytty arviomaan.

5.3 Linjojen seisakit

Tiedonkeruuseen kirjataan linjakohtaisesti suunniteltujen ja suunnittelemattomien seisakkien toteumat minuutteina. Seisakit määritellään häiriökoodeilla. Kuvassa 21 näkyy pikarilinjoiden eniten ilmenevien häiriökoodien kertymä tammikuusta marraskuuhun vuonna 2016.



Kuva 21. Pikarilinjoiden häiriökoodit tammikuu - marraskuu 2016

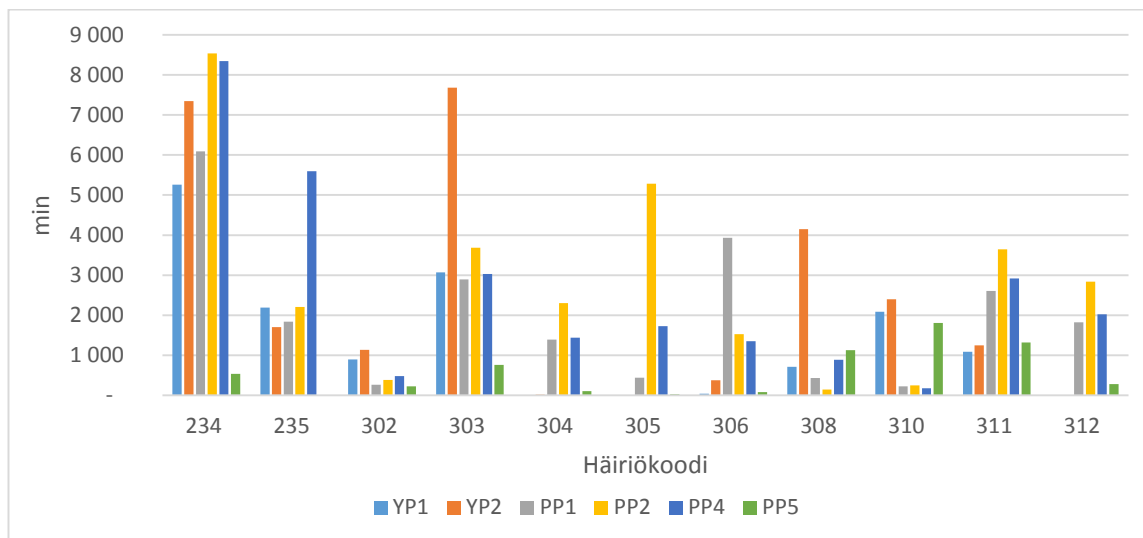
Esiin nousevia piikkejä kuvaajassa ovat: “muotoilija muotoiluasemavika” (216), “muotoilija pinolaitevika” (220) ja “linjan automaatio/kiinteistöjärjestelmävika” (235). Eniten ilmenevien häiriöiden kautta voi löytyä viitteitä laatuongelmien aiheuttajasta. Muotoiluasemavioista kertyi seisakkia noin 17000 min, pinolaiteviasta noin 20000 min ja automaatiojärjestelmän vioista 19000 min. Näistä tuloksista keskustellaan myöhemmin linjalla työskentelevien henkilöiden kanssa ja pohditaan seisakkeja aiheuttavia syitä, sekä niiden seurauksia. Taulukossa 6 on kerrottu kaikkien kuvan 21 häiriökoodien selitykset.

Taulukko 6. Muotoilulinjojen häiriökoodien selitykset

| Koodi | Aihe |
|-------|--|
| 100 | Levykone raaka-aineen siirtolaitteiden häiriö |
| 101 | Levykone raaka-aineen annostelu- ja vaakajärjestelmän häiriö |
| 103 | Levykone ekstruuderin muu häiriö |
| 104 | Levykone kalanterin vesi/öljyvuoto |
| 213 | Muotoilija vesi/öljy/ilmavuoto |
| 215 | Muotoilija levynsiirtovika |
| 216 | Muotoilija muotoiluasemavika |
| 218 | Muotoilija muottivika |
| 220 | Muotoilija pinolaitevika |
| 221 | Muotoilija tuotekuljetinvika |
| 234 | Linjan pysäyttävä laatuviika |
| 235 | Linjan automaatio/kiinteistöjärjestelmävika |

Kuvassa 22 on vastaava häiriökoodien kertymä dekorointiosastolle ja taulukossa 7 selitykset häiriökoodeille. Kuvasta on jätetty pois yhdistelmäpakkausten kartonkiseen eti-

kettiin liittyvät häiriöt (koodit 351 ja 352), koska ne eivät ole oleellisia tämän tutkimuksen kannalta.



Kuva 22. Dekorointiosaston häiriökoodit tammikuu - marraskuu 2016

Taulukko 7. Dekorointiosaston häiriökoodien selitykset

| Koodi | Aihe |
|-------|--|
| 234 | Linjan pysäyttävä laatuviika |
| 235 | Linjan automaatio/kiinteistöjärjestelmäviika |
| 302 | Tuotekuljetinviika |
| 303 | Syöttölaiteviika/häiriö |
| 304 | Koronalaiteviika |
| 305 | Väripääviika |
| 306 | Painolaiteviika |
| 308 | Poistolaite/noutajaviika |
| 309 | Pohjapainoviika/häiriö |
| 310 | Pakkauspääviika/häiriö |
| 311 | Pesu |
| 312 | Kumin vaihdot/laatan vaihdot |

Koodi 234 on linjan pysäyttävä laatuviika, ja sitä kertyi tutkittavana ajanjaksona noin 36000 min. Laatuviika voi olla puolivalmiissa pikarissa tai linjan oma laatuviika. Kolmanneksi yleisin häiriön syy oli syöttölaitteen häiriö (koodi 303), jota kertyi yhteensä noin 21000 min. Syöttölaitteen häiriöt aiheutuvat myös huonoista puolivalmiista pika-reista, jotka jumittuvat syöttölaitteeseen. Sisäisen laadun parannus puolivalmiissa pika-

reissa pitäisi näkyä ainakin näihin koodeihin kirjattujen minuuttien vähentymisellä, ja näitä koodeja voitaisiinkin pitää yhtenä sisäisen laadun parantumisen mittarina.

5.4 Mittausten yhteenveto

Taulukkoon 8 on koottu eri osa-alueiden mittauksista saatuja tuloksia, sekä tässä vaiheessa tehtyjä päätelmiä tuloksista.

Taulukko 8. Yhteenveto luvussa 5 esitetyistä mittaustuloksista

| Mittauskohde | Tulos | Päätelmä |
|---------------------------------|---|---|
| Laatuhavainnot koneittain | 58 % omista ja sisäisistä laatu-havainnoista on pikarilinoista tehtyjä sisäisiä havaintoja. Pikarilinojen välillä ei pitkällä aikavälillä ole suuria eroja. | Pikarilinoilla tehdään erittäin vähän omia laatuhavaintoja huonosta laadusta huolimatta. Tämä viittaa ongelmiin pikarilinojen omassa laadunvalvonnassa. |
| Laatuhavainnot tuotemalleittain | Tuotemallien väliset suuret erot johtuivat pääasiassa valmistusmäärästä. | Todenmukaisempi tulos saatiin suhteuttamalla laatuhavainnot valmistusmäärään. |
| Laatuhavainnot vikatyypeittäin | Vikatyypit esiintyivät selkeästi eniten tietyillä pikarilinoilla, mutta tietyt tuotemallit valmistetaan yleensä tietyllä linjalla. | Voidaan olettaa, että vikatyypit johtuvat tietyistä tuotemallista. |
| Viallisten puolivalmiiden määrä | Määrä arvioitiin dekorointiosaston uudelleenkäytettävän hukan avulla, ja suhteutettiin kyseisen tuotteen tai koneen valmistusmäärään. | Todellista viallisten puolivalmiiden määrää mahdotonta arvioida, sillä todennäköisesti iso osa päätyy painokoneelle asti. Arviota voidaan kuitenkin käyttää tuotemallien väliseen vertailuun. |
| Linjojen seisakit | Dekorointiosastolla eniten suunnittelematonta seisakkia aiheuttaa linjan pysäyttävät laatuviat. | Osa laatuviioista on linjan omia laatuviokoja, mutta sisäisen laadun paranemisen voidaan olettaa vähentävän laadusta aiheutuvia seisakkeja huomattavasti. |

6. ONGELMIEN ANALYSOINTI (ANALYZE)

Tiedonkeruuseen ja –jakoon liittyvien ongelmien ratkaisussa ei ole apuna kerättyä dataa. Ongelmana on enemmänkin tiedon puute, joten ongelmien etsimisen sijaan pyritään löytämään kehitysehdotuksia. Tiedonkeruun ja –jaon osalta analyysi pohjautuu kirjoittajan omiin kokemuksiin tuotannossa, sekä tuotannon toimihenkilöiden kanssa käytyihin keskusteluihin.

Puolivalmiiden pikarien laatuongelmia lähdetään ratkomaan niin sanotun *Variation Reduction Kaizen* –ongelmanratkaisutapahtuman avulla (VRK). Puolivalmiiden laatuongelmien tutkimisessa käytetään hyväksi prosessin kuvausta, kerättyä dataa sekä linjan työntekijöiden ja esimiesten kokemuksia. VRK:n tuloksena syntyy toimintasuunnitelma, jonka toimenpiteiden avulla puolivalmiiden pikarien laadun pitäisi parantua.

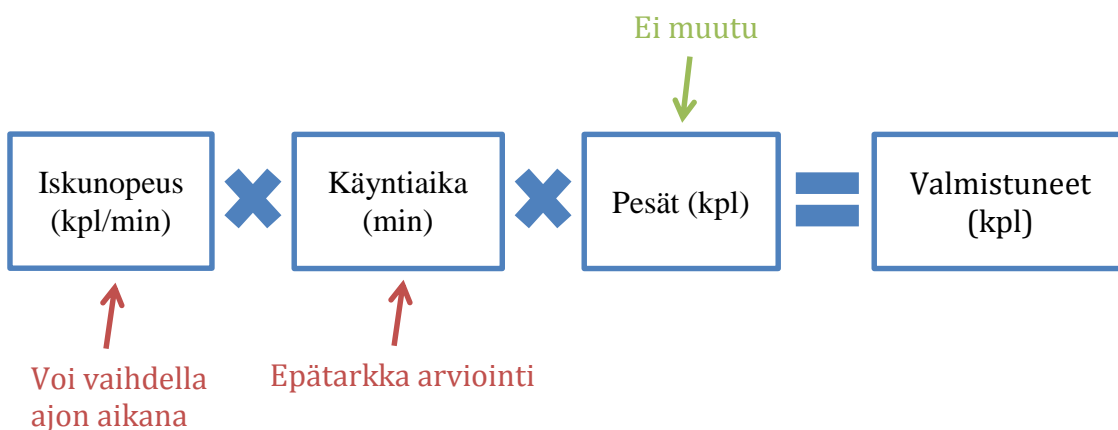
6.1 Tiedonkeruun kehityssuunnitelma

Tuotantolinjalla henkilöstön laskema hukan määrä poikkeaa huomattavasti materiaalin kulutuksesta lasketusta hukan määrästä. Linjalla tapahtuvaa hukan laskentaa tulisi kehittää todenmukaisemman tiedon saamiseksi. Hukan määrän pitää olla todenmukaisempi, jotta sen jaottelusta saatu tieto olisi todenmukaisempaa. Jaottelu voidaan tehdä ainoastaan linjalla työskentelevien henkilöiden toimesta.

6.1.1 Hukan määrän tarkennus

Linjan hukan laskennalle etsitään vaihtoehtoisia tapaa epätarkan tukkimiehenkirjanpidon tilalle. Hukan määrä on laskettavissa käyntiajasta, iskunopeudesta ja muotin pesien määrästä. Käyntiajassa työntekijä ottaa huomioon tuotannossa tapahtuvat pysähdykset ja kirjaa ne ylös. Myös pysähdyksen syystä annetaan selvitys aikaisemmin esiteltyillä häiriökoodeilla. Iskunopeudella tarkoitetaan niin sanotusti koneen tuotantonopeutta ja sille on määritelty tavoitearvo tuotekohtaisesti. Toteutunut iskunopeus voi kuitenkin vaihdella vuoron aikana. Pesien määrällä tarkoitetaan muotissa olevien aukkojen määrää, eli montako kappaletta tuotetta syntyy yhdestä iskusta. Pesien määrä on jo valmiiksi tuotemallikohtaisesti tiedonkeruussa. Näillä tiedoilla lasketaan linjan todellinen saanto tutkittavana ajanjaksona. Tästä määrästä vähennetään valmistuneet kappaleet, joiden määrä nähdään täyttyneistä laatikoista tai häkeistä. Kaikki hukan laskentaan tarvittavat tiedot ovat saatavilla ja osa työntekijöistä käyttääkin tätä laskutapaa hukan arviointiin.

Tiedonkeruuohjelma tulee muuttaa niin, että siihen syötetään yllämainitut tiedot, jolloin ohjelma itse laskee hukan määrän ja ilmoittaa sen tietoja täyttävälle henkilölle. Näin epävarmuutta tulokseen toisi vain käyntiaika, joka edelleen pitäisi arvioida työntekijän toimesta. Epätarkkuutta syntyy, jos koneen pysähtymistä ei huomata heti tai jos kellon tulkinta on epätarkkaa. Joissakin koneissa on käyntiajan tahtilaskureita, joita ei tällä hetkellä käytetä. Laskureiden käyttöönotolla saataisiin entistä tarkempaa tietoa. Myös iskunopeus voi vaihdella, mutta jos ei tule suurempia ongelmia, se pysyy vuoron ajan samana. Epätarkasta käyntiajan arviosta ja iskunopeuden vaihtelusta huolimatta, näin laskettu hukan määrä olisi huomattavasti todenmukaisempi kuin nykyiset arviot. Väite epätarkkuudesta perustuu tuotannossa tehtyihin havaintoihin työskentelytavoista. Kuvassa 27 näkyy, miten lasketaan valmistuneiden tuotteiden kappalemäärä tietyssä ajassa, sekä siihen vaikuttavat epävarmuustekijät.



Kuva 23. Teoriassa valmistuneiden kappaleiden laskukaava ja siihen vaikuttavat tekijät

Joissakin tehtaissa käytetään syntyneiden viallisten tuotteiden tai materiaalin punnitsemista. Eri syistä syntyneet vialliset tuotteet kerätään omiin pinoihinsa, jotka esimerkiksi vuoron lopussa punnitaan. Toinen vaihtoehto on että, myllyyn syötettäessä valitaan vialliset tuotteet aiheuttanut syy. Myllyn säkkiasemalla on vaaka, joka punnitsee lisääntyneen rouheen ja yhdistää sen valittuun syyhyn. Ensimmäinen vaihtoehto vaatii lisätilaa viallisten keräykselle, sekä lisää työaikaa viallisten punnitsemiseen ja murskaamiseen vuoron lopussa. Toinen vaihtoehto vaatii huomattavia muutoksia rouheenkuljetukseen, mikä ei ole tällä hetkellä mahdollista.

6.1.2 Hukan jaottelu aiheuttajan mukaan

Hukka jaotellaan materiaalinkiertoa menevään ja energiajätteeseen. Hukan vähentämisen kannalta olisi tärkeämpää tietää, mistä hukka syntyy, eikä mihin se päättyy. Hukan tarkemmasta jaottelusta on hyötyä monelle osa-alueelle. Sisäisen laadun valvonnassa saataisiin tietää toisen koneen laatuvirheestä aiheutunut hukan määrä. Mittausvaiheessa

sitä arvioitiin uudelleen käytettävän hukan määrällä, mutta siinä jää huomioimatta myöhemmin prosessissa havaitut puolivalmiin laatuvirheet, joten sen avulla voidaan vain vertailla esimerkiksi tuotemalleja keskenään. Todellinen viallisten puolivalmiiden määrä on nykyisellään mahdoton arvioida. Hukan jaottelu auttaisi myös ongelmanratkaisussa, kun haluttaisiin selvittää mistä koneen aiheuttama hukka muodostuu. Saataisiin tietoon, syntyykö eniten hukkaa koneen käynnistyksestä, ajon aikana vai viallista lähtömaterialista. Tämä jaottelu pystytään havaitsemaan koneella, mutta sitä ei kirjata ylös.

Kun ylimääräinen työ hukan laskemiseksi on jätetty pois, ja tarkempi hukan määrä tulee suoraan koneelta, voidaan keskittyä syyperäiseen hukan jaotteluun. Erilaisia hukan syitä on useita, mutta niistä on valittava kullekin koneelle oleellimmat, jotta erottelu on mahdollista muiden töiden lomassa. Erilaisia hukkaa linjalla aiheuttavia syitä ovat:

- Linjan käynnistys tuotevaihdon jälkeen
- Linjan käynnistys tai rullan vaihto samalla tuotteella
- Laatuvirheet ja laadun säätö ajon aikana
- Edellisessä työvaiheessa aiheutunut laatuvirhe (huono levy, huonot puolivalmiit)
- Kirjaamatta jätetyt vajaat pakkaukset
- Likaiset energiajätteeseen menevät
- Muu hukka (ei sovi mihinkään yllämainituista)

Aina linjan käynnistyessä tulee hukkaa, koska ensimmäiset kappaleet eivät ole vielä lämpötilaltaan ja säädöiltään sopivia. Tuotteenvaihdon jälkeen kone on kylmä ja säädöt muutetaan uutta tuotetta varten, joten hukkaa voi tulla vielä enemmän. Rullanvaihto tehdään koneen käydessä, mutta levyrullan päällimmäiset kerrokset ovat usein likaisia. Niinpä näissä tilanteissa aina ensimmäiset kappaleet murskataan materiaalikiertoon.

Edellisessä työvaiheessa aiheutunut laatuvirhe, eli sisäinen laatu, tulisi ottaa huomioon koneilla, joille tulee puolivalmiita tuotteita tai valmista levyä toiselta koneelta. Esimerkiksi levyn laatuvirhe saatetaan huomata vasta muodonannon lopputuotteessa. Laatuvirhe pystytään tunnistamaan levystä johtuvaksi, joten se olisi mahdollista erotella muodonannossa aiheutuneesta laatuviasta.

Joitakin tuotteita voi jäädä kirjaamatta valmistuneiden määrään, sillä vuoron vaihtuessa on tapana merkitä vain täydet laatikot tai häkit. Vajaassa laatikossa saattaa olla useita tuhansia kappaleita tuotetta, joten ne tulisi ottaa huomioon hukan laskennassa. Näin tulisi toimia siinä tapauksessa, jos hukka halutaan laskea kirjattujen valmistuneiden kappaleiden ja teoriassa valmistuneiden kappaleiden erotuksesta.

Kirjoittaja on itse työskennellyt koneilla ja pitänyt kirjaa hukasta. Kokemusten perusteella hän uskoisi kolmen eri hukkatyyppin kirjaamisen olevan mahdollista. Aikaisemmin on pidetty kirjaa kahdesta tyyppistä, mutta jos tietokone laskee kokonaismäärän, voi kolmannen vikatyyppin laskea kahden avulla. Tavoitteena on myös helpottaa tietoja keräävän henkilön työtä, joten vaihtoehtojen määrää on harkittava tarkkaan. Mahdollista

olisi myös eri hukkatyyppien prosentuaalinen arviointi. Tätä arviointia vaikeuttasi se, että toinen henkilö hoitaa konetta taukojen ajan.

6.2 Laadun tiedonjaon kehityssuunnitelma

Tämän työn jälkeen sisäisellä laadunhallinnalla tulisi olla työkalut ongelmien havainnointiin ja tunnistamiseen. Tämän ongelman ratkaisussa ei etsitä varsinaisia ongelmia, vaan parannusehdotuksia. Muutoksista keskustellaan laadusta vastaavien henkilöiden, tuotannon työntekijöiden sekä tuotannon esimiesten kanssa. Sisäiselle laadulle kehitetään mittareita, jotka tuovat esiin laadun ongelmakohdat. Mittareista pyritään kehittämään sähköisiä ja automaattisesti päivittyviä. Tällä hetkellä tuotannon tiedonjaossa tehdään monia asioita moneen kertaan. Sähköisistä järjestelmistä siirretään tietoa käsin paperille. Tällaisesta turhasta työstä pyritään pääsemään eroon ainakin joillakin tiedonjaon osa-alueilla.

Laatuhavainnot tulisi kirjataan paremmassa muodossa, jotta niitä voidaan tarkastella myöhemmin ja etsiä ongelmakohтия. Tähän työhön tietoa kerätessä, pikarilinjien ja dekorointiosaston laatuhavainnot kerättiin taulukkoon, josta saatiin suodatettua havainnot esimerkiksi tuotemallin tai valmistaneen koneen perusteella. Samanlaista taulukkoa voitaisiin käyttää päivittäisten laaturaporttien tekemisessä. Samat tiedot, jotka laatuhenkilö kirjaa käsinkirjoitetuista laaturaportteista Word-tiedostona oleviin laaturaportteihin, voitaisiin kirjata Excel-tilukkkoon. Jos erillisille tulostettaville laaturaportteille on tarvetta, voidaan havainnot kopioida taulukosta.

Laaturaportti on kaikkien saatavilla tuotannon tietokoneilla. Se täytyy kuitenkin jokaisen käydä itse katsomassa. Laaturaportti voisi olla näkyvillä taukotilassa näytöllä, jotta se olisi helpommin saatavilla. Paras vaihtoehto olisi, jos laatumerkinnät kirjattaisiin tuotannossa tietokoneilla sähköiseen muotoon. Tällöin kaikki havainnot olisivat jälkeinpäin tarkasteltavissa, eivätkä vain ne jotka laatuhenkilö on valinnut raporttiin kirjattaviksi.

Sisäistä laatua voidaan mitata laatuhavaintojen määrällä tai sisäisestä laadusta aiheutuneen hukan määrällä. Hukan määrän saamiseksi tarvitaan tiedonkeruun kehittämistä ja hukan jaottelua koneella. Jos sisäisestä laadusta aiheutuneen hukan määrä on tiedossa, voidaan sen määrästä rakentaa mittari hukan aiheuttaneelle koneelle tai koneryhmälle. Esimerkiksi huonojen puolivalmiiden pikareiden aiheuttama hukka dekorointiosastolla, olisi sisäisen laadun mittari pikarikoneilla. Vaihtoehdot mittarille ovat konekohtainen tai tuotemallikohtainen.

6.3 Kohdeyrityksen ongelmaratkaisumenetelmä ja puoli-valmiiden pikarien laatuvirheiden analyysi

Pikarien sisäisen laadun ongelmia selvitettiin kohdeyrityksen ongelmanratkaisumenetelmällä, eli *Variation Reduction Kaizen* –tapahtumalla. Kohdeyrityksessä on otettu käyttöön useita Lean–ajatusmaailmaan perustuvia toimia ja yksi niistä on VRK. Tällaisia projekteja oli aikaisemmin toteutettu Suomen tehtaalla yksi, jossa kirjoittaja oli mukana. Leanissa Kaizen tarkoittaa asteittaista, vähitellen etenevää ja jatkuvaa toimintojen kehitystä. Tarkoituksena on kasvattaa toiminnasta syntyvää arvoa ja vähennetään arvoa lisäämätöntä hukkaa. Japanin kielen sana *kai* tarkoittaa ”osallistua” ja *zen* tarkoittaa ”tehdä hyvää”. (Burton ja Boeder 2003, s. 72).

VRK –metodi on hyvin lähellä DMAIC:ia. Sillä on tarkoitus ratkaista ongelmia, jotka vaativat syvällisempää paneutumista. Ideana on vähentää valitun prosessin ulostulon variaatiota ja näin parantaa laatua. VRK:ssa kokoontuu yhteen mahdollisimman monta, erilaisia työtehtäviä tekeviä henkilöitä. Tiimissä voisi olla esimerkiksi tuotantopäällikkö, laatuvaastaava, tutkittavan linjan esimies ja linjan työntekijöitä. VRK:n on tarkoitus olla lyhyt ja tehokas, esimerkiksi viikon kestävä laadunparannusprojekti. Osa projektin aikana suunnitelluista parannusehdotuksista jää toteutettavaksi suunnittelun aikataulun ulkopuolella. Tässä projektissa tapahtumaa varten kerättiin kuuden hengen tiimi, johon kuului:

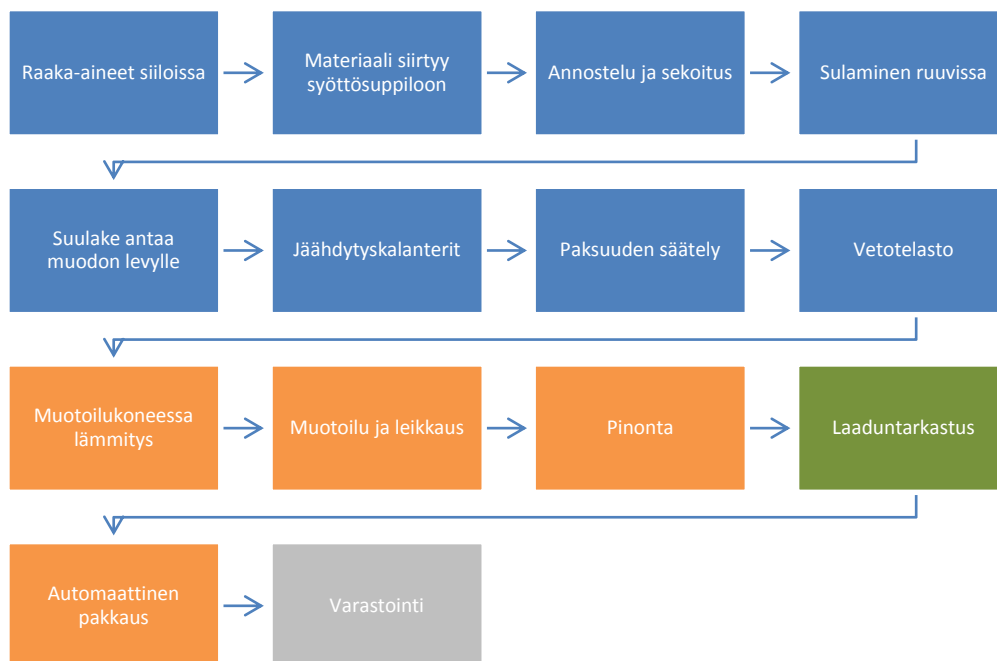
- Laatupäällikkö
- Pikarilinjojen aluevaastaava
- Dekorointiosaston aluevaastaava
- Pikarikoneen koneenhoitaja
- Dekorointiosaston tuotekäsittelijä
- Diplomityöntekijä (itse kirjoittaja)

Projektissa oli mukana myös tuotantopäällikkö ja toiminnan kehityspäällikkö. Tapahtumalle varattiin kaksi kokonaista päivää, joidenka aikana käytiin läpi VRK:n vaiheet sekä keskusteltiin yleisesti pikarien laadunhallinnasta.

Tapahtuman alussa mietitään mahdollisia syitä laadun variaatiolle kyseisellä tuotteella tai tuotantolinjalla. Mahdolliset syyt jaotellaan hallittuihin ja hallitsemattomiin toimin-toihin, kuten luvun 2.2 kuvassa 2 yhtenäiset ja katkoviivanuolet. Sen jälkeen kaikille hallitsemattomille tekijöille pyritään määrittämään keino, jolla ne saadaan hallintaan. Esimerkiksi jos tiimi uskoo, että koneen epäsiisteys vaikuttaa lopputuotteen laatuun, epäsiisteysten ratkaisuksi ehdotetaan päivitettyjä siivousohjeita linjalle. Toimenpide pisteytetään sen mukaan, kuinka paljon sen uskotaan vaikuttavan lopulliseen laatuun, kuinka kestävä ratkaisu on ja kuinka kauan sen toteuttaminen kestää. Pisteytyksen avulla kaikista ehdotetuista toimenpiteistä valitaan eniten pisteitä saaneet toteutettaviksi. Jotkin toimenpiteen on mahdollista toteuttaa heti, mutta jotkin vaativat enemmän aikaa

ja suunnittelua. Toiminnoille pyritään määrittelemään toteutuksen aikaraja ja toteutuksesta vastuussa oleva henkilö.

DMAIC analysointivaiheessa kehoitetaan tekemään prosessianalyysi. Prosessianalyysin avulla on mahdollista kohdentaa ongelma esimerkiksi tiettyyn materiaaliin tai tiettyyn koneeseen. VRK-tiimin kanssa käytiin kävellen läpi prosessin kaikki vaiheet ja muodostettiin prosessin kulun kaavio (kuva 24). Prosessin vaiheiden sisältö on selitetty aikaisemmin tuotannon toiminnasta kertovassa kappaleessa.



Kuva 24. VRK-tiimin rakentama puolivalmiiden pikarien valmistusprosessi. Sinisellä levyn ekstruusion vaiheet ja oranssilla muotoilun vaiheet

Prosessianalyysistä ei tässä ongelmassa koettu olevan erityistä apua. Hyvä puoli oli kuitenkin se, että tiimin kanssa jalkauduttiin tutkittavalle alueelle ja asetettiin sille rajat. Tiimi teki myös turvallisuushavaintoja tarkasteltavilta linjoilta. Havaintoja tehtiin lähinnä epäsiisteyden aiheuttamista turvallisuusriskeistä.

Mittausvaiheessa esiteltyä dataa tarkasteltiin VRK -tiimin kanssa. Datan ja työntekijöiden kokemuksen perusteella analysoitiin linjoilla ilmenneitä ongelmia. Linjojen seisakkeista kootusta datasta ei noussut esille mitään työntekijöille ennestään tuntematonta. Toiseksi eniten seisakkia aiheutti pinolaittevika, joka koneenhoitajien mukaan johtuu suurimmaksi osaksi väärän tyyppisistä pinolaitteista. Pinolaitteiden vaihtaminen vaatisi kuitenkin suuria investointeja. VRK:n ajatuksena on ensin parantaa tilannetta ilman kustannuksia tai mahdollisimman pienillä kustannuksilla.

Tiimin kanssa selvitettiin vikatyypin avulla, miksi vialliset puolivalmiit ovat menneet varastoon asti. Vikatyyppi voi vaikuttaa läpimenoon havaittavuudellaan. Jotkin vikatyypit ovat jatkuvia ja jotkin satunnaisia. Erityisesti jatkuvien vikojen ei pitäisi päästä

varastoon ja niiden pitäisi olla myös helpommin näytteenotossa havaittavissa. Tiimin kanssa käsiteltiin eniten läpimenneitä vikatyyppejä. Viisi yleisintä pikareilla aiheutunutta vikatyyppeä näkyvät taulukossa 9, joka kertoo havaintojen määrä vuonna 2016 loka-kuuhun mennessä, sekä analyysia niiden havaitsemisen helppoudesta.

Taulukko 9. Sisäisten laatuhavaintojen perusteella yleisimpien vikatyyppeiden kuvaus ja niiden havaitsemisen helppous

| Vikatyyppi | Kuvaus | Havainnot | Analyysi |
|---------------------|--|-----------|---|
| Viallinen suutaso | Suutasossa laatuvirhe. Esim. lovi, kolhu tai vääntynyt | 33 | Ilmenee jatkuvasti samassa pesässä. Mahdollista havaita tuntikohtaisissa laatunäytteissä. |
| Pehmeäpohjainen | Pikarin materiaali- ja kauma on epätasainen ja pohja on ohut. | 29 | Esiintyy satunnaisesti ja epätodennäköistä havaita tuntikohtaisissa laatunäytteissä. |
| Ruttupohjainen | Pikari jää muottiin kiinni ja pohja ruttaantuu. | 27 | Esiintyy satunnaisesti ja epätodennäköistä havaita tuntikohtaisissa laatunäytteissä. |
| Huono muotoutuminen | Kaikki ongelmat muotoutumisessa | 19 | Useita eri syitä. Muotoutumisen käsite laaja. Havaitseminen riippuu tapauksesta. |
| Materiaalijakauma | Materiaalijakaumaan liittyvät ongelmat, joita ei ole erikseen eritelty | 15 | Voi johtua levyn epätasaisuudesta tai koneen lämpösäädöistä. Havaitseminen riippuu tapauksesta. |

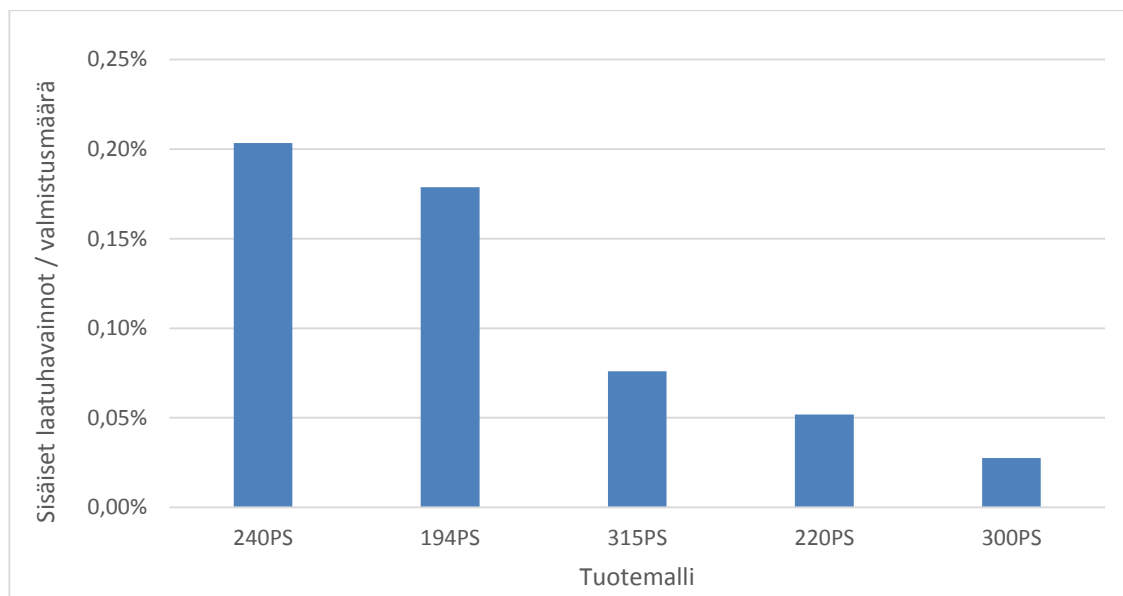
Sisäisten laatuhavaintojen kokonaismäärällä eri pikarilinjoiden välillä ei ollut eroa. Kun sisäisten laatuhavaintojen vikatyypit jaettiin koneittain, voitiin huomata, että tietyt vikatyypit ilmenivät enemmäksin samoilla koneilla (kuva 18, s. 40). Eniten sisäisiä havaintoja tehtiin suutasen laatuongelmista, ja niitä esiintyy kaikilla pikarilinoilla. Suutasen laatuvirheet ovat yleensä jatkuvia ja niiden tulisi käydä ilmi tuntikohtaisissa laatunäytteissä. Kolme seuraavaksi yleisintä laatuviikaa (pehmeäpohja, ruttupohja ja muotoutuminen) olivat kuitenkin selkeästi tiettyjen pikarilinjoiden laatuongelmia. Tietyillä linjoilla valmistetaan pääsääntöisesti samoja tuotemalleja ja kun vikatyypit jaoteltiin tietyille

tuotemalleille, voitiinkin huomata, että jakautuminen ei johdu koneesta vaan niillä valmistetuista tuotemalleista (taulukko 5, s. 41). Voitiin huomata, että tuotemalleja tarkastellessa suutason ongelmat keskittyivät selkeästi tuotemalliin 194PS. Vaikka tätä tuotemallia valmistettiin aina samalla koneella (PL3), se ei erottunut koneiden välisessä vertailussa, sillä muillakin tuotemalleilla oli useita suutason laatuviikoja. Tuotemallin 194PS suutason laatuviikojen suuri määrä selittyy pitkäaikaisella yksittäisen ongelman jatkumisella. Kesällä tehtiin laatuhavainto samasta viasta monena peräkkäisenä päivänä, koska vikaa ei saatu heti korjattua. Näin ollen ei voida yleistää, että kyseisellä tuotemallilla olisi jatkuvasti paljon suutason ongelmia.

Pehmeäpohjista tehdyistä laatuhavainnoista 23/29 oli tehty tuotemallista 220PS. Tällä tuotemallilla on yksi isoimmista tuotantovolyymeista ja siitä on tehty eniten sisäisiä laatuhavaintoja, mutta valmistusmäärään suhteutettuna sillä on vasta 12:sta eniten sisäisiä laatuhavaintoja. Tarkkaa syytä pehmeäpohjaisten syntymiselle ei ole tiedossa. Vian arvellaan johtuvan esimerkiksi levyn materiaali jakauman epätasaisuudesta tai siitä, että tuotteita päästetään varastoon liian varhaisessa vaiheessa. Tämä tarkoittaa sitä, että käynnistyksen jälkeen laatu ei ole vielä tarpeeksi hyvää, esimerkiksi koneen lämpötilasta johtuen. Siitä miksi pehmeäpohjia syntyy juuri tuotemallille 220PS ei tiedetä, mutta se saattaa johtua tuotteen suuresta tuotantovolyymista, jolloin mahdollisuus pehmeäpohjille on suurempi.

Suurin osa ruttupohjista tehdyistä havainnoista (15/27) tehtiin tuotemallista 315PS. Tiimin keskustelussa kävi ilmi, että kyseinen tuotemalli on herkkä lämmön säädöille ja muotoilupaineelle. Pikari jää helposti muotin pohjaan kiinni ja syntyy ruttuinen pohja. Painokoneella ruttupohjaiset pikarit pysäyttävät painokoneen ja pahimmillaan rikkovat sen osia. Tästä tuotemallista aiheutuneen uudelleenkäytettävän hukan arvo oli suurin kaikista ja siitä on myös tehty toiseksi eniten sisäisiä laatuhavaintoja.

Joillakin tuotemalleilla valmistettu määrä on todella pieni, joten ne saavat helposti suuren suhdeluvun. Joillakin tuotemalleilla on paljon havaintoja, mutta niiden vikatyypit ovat satunnaisia. Haluttiin selvittää millä tuotemallilla on toistuvia vikoja, joten vertailuun otettiin mukaan vain tuotemallit, joilla on esiintynyt sama vikatyyppejä vähintään kahtena eri ajankohtana. Eri ajankodalla tarkoitetaan, että jos havainnot on tehty peräkkäisinä päivinä, vikatyyppejä ei pidetä satunnaisesti toistuvana. Kuvassa 25 on käytetty samoja tietoja kuin kuvassa 15b (s. 38), mutta tuotemallit on karsittu edellä kuvatun satunnaisuuden mukaisesti.



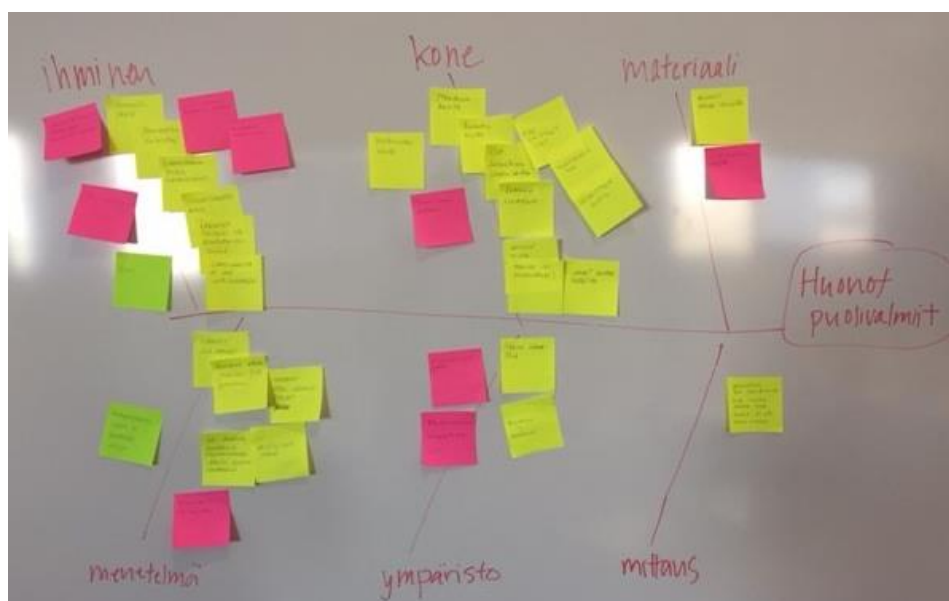
Kuva 25. Tuotemallien, joilla jatkuvia vikatyyppejä, sisäiset laatuhavainnot suhteessa valmistusmäärään

Eniten satunnaisesti ilmeneviä sisäisiä laatuhavaintoja on tuotemallilla 240PS. Sillä on myös uudelleenkäytettävän hukan määrä suhteessa kuluneeseen materiaaliin korkein kaikista tuotemalleista (kuva 19b, s. 42). VRK –tiimin kanssa keskustellessa kävi ilmi, että ongelmia aiheuttaa tuotemallissa käytetty väriaine, eli pikarin värisävy aiheuttaa ongelmia.

Sisäisiä laatuhavaintoja suhteessa valmistuneisiin kappaleisiin oli eniten kahdella polypropeenista valmistetulla tuotemallilla (375PP ja 210PP) (kuva 15b, s. 38). Näillä tuotemalleilla on myös kolmanneksi ja neljänneksi eniten uudelleenkäytettävää hukkaa suhteessa kuluneeseen materiaaliin (kuva 19b, s. 42). Toiseksi eniten uudelleenkäytettävää hukkaa suhteessa valmistuneisiin oli tuotemallilla 185PP, jolla syyksi ilmeni pinolaitteen aiheuttama pikarien soikeus. Soikeus johtuu siitä, että pikarin muotoutuminen jatkuu vielä pinolaitteessa, joka ei ole aivan oikeanlainen kyseiselle tuotteelle. Linjalla työskentelevien henkilöiden mukaan PP-tuotteet koetaan hankalammiksi valmistaa, koska niistä on vähemmän kokemusta kuin polystyreenipikareista. Erityisesti tuotevaihtojen jälkeen tuotteen laadun säätäminen hyväksi ottaa aikansa. Tulevaisuudessa asiakkaiden odotetaan olevan enemmän kiinnostuneita PP:sta, joten laadun parantaminen on tärkeää. Polypropeenituotteiden valmistuksen lisääntyessä, työntekijät uskovat osaamisen lisääntyvän ja laadun paranevan. Toinen PP-tuotteiden ongelma on pitkän varastoinnin aiheuttama vääntyminen, kun pikaripinot ovat laatikossa kyljellään. Erityisesti pienissä erissä valmistettavien kausituotteiden pitkää varastointia tulisi välttää.

6.4 Syy-seuraus-kaavio ja toimintasuunnitelma

Datan tarkastelun jälkeen VRK-tiimin jäsenet miettivät itsenäisesti syitä huonoille puolivalmiille pikareille. Tärkeää on tuoda esille kaikki ajatukset ongelman mahdollisista aiheuttajista, eikä karsia mitään pois. Vasta tiimin kanssa keskustelemalla ja dataa tarkastelemalla voidaan oletuksia sulkea pois. Mahdolliset ongelman aiheuttajat sijoitettiin Ishikawa-diagrammiin, oikeisiin haaroihin. Luvussa 2.3 esitettyjen haarojen lisäksi diagrammiin lisättiin myös "mittaus", koska se on mukana virallisessa VRK:n ohjeessa. Kuvassa 26 näkyy tiimin rakentama diagrammi. Muistilappujen värillä ei ole merkitystä sisällön kannalta.



Kuva 26. VRK –tapahtuman Ishikawa-diagrammi mahdollisista ongelman aiheuttajista

Muistilappujen sisällöstä koottiin lista mahdollisista ongelman aiheuttajista. Jos useampi henkilö oli maininnut saman asian, päällekkäisyydet karsittiin pois tässä vaiheessa. Karsinnan jälkeen mahdollisia aiheuttajia löytyi yhteensä 27 kappaletta ja näistä tuli vielä määrittää, onko aiheuttaja tällä hetkellä hallinnassa vai hallitsematon. Kaikki löytämämme mahdolliset aiheuttajat olivat hallitsemattomia. Esimerkkejä ehdotetuista ongelman aiheuttajista:

- Pikarikoneen kunto ja ennakoivan kunnossapidon puute
- Levyn paksuuden vaihtelu
- Laatutarkastusten laiminlyönti
- Näyteotannan riittämättömyys tietyillä vikatyypeillä
- Tuotevaihtojen suuri määrä
- Kahvihuoneen sijainti liian lähellä työpistettä
- Koneenhoitajien ammattitaito
- Kiire ja henkilömäärän riittämättömyys

Aiheuttajille pohdittiin toimenpiteitä, joilla ne saadaan hallintaan ja nämä keinot pisteytettiin annetuilla kriteereillä. Kriteereinä olivat vaikutus ongelmaan, toimenpiteen toteutuminen käytännössä ja toteutuksen helppous. Kriteerien mukaan toimenpide sai pisteitä yhdestä kahteen ja niiden perusteet näkyvät taulukossa 10.

Taulukko 10. Kriteerit korjaavien toimenpiteiden pisteytykselle

| Kriteeri | 1 Luokka “OK” | 2 Luokka “Parempi” | 3 Luokka “Paras” |
|---------------------------------|---|---|--|
| Vaikutus | <i>Nice to do</i> , mutta ei vaikutusta ongelmaan | Auttaa saavuttamaan Kaizenin tavoitteen | Ratkaisee ison osan ongelmasta |
| Toteutuminen käytännössä | Jotain paperilla | Muutos prosessissa | Peruuttamaton muutos / “idiootti-varma” |
| Toteutuksen helppous | Pitkäaikainen projekti, joka vaatii paljon aikaa ja/tai rahaa | Voidaan aloittaa Kaizenin aikana, mutta vie aikaa ja mahdollisia kustannuksia | Voidaan toteuttaa Kaizenin aikana, hyvin pienillä kustannuksilla |

Toimenpiteen saamat pisteet kerrottiin keskenään ja lopullisen pistemäärän perusteella ne järjestettiin tärkeysjärjestykseen. Suurimmat pisteet saaneet toimenpiteet siirrettiin toimintasuunnitelmaan, jossa määritetään vastuuhenkilö ja toteutumisen aikaraja. Vastuuhenkilöt pyrittiin löytämään tiimin sisältä, mutta tehtäviä sai tarvittaessa määrätä myös ulkopuolisille. Tärkeää oli valita vastuuseen vain yksi henkilö per toimenpide, jotta vastuu olisi konkreettisempaa. Toimintasuunnitelmaan nousseita toimenpiteitä olivat esimerkiksi:

- Varasto-ohjauksen muutos tietyille tuotemalleille
- Ajonopeuden muutos tietyille tuotemalleille levyn paksuusvaihtelun tasoittamiseksi
- Kunnossapidon toimintatapojen muutoksen ehdotus
- Pinolaitteiden muutos
- Keskustelu työntekijöiden kanssa reklamaatiotapauksissa ja laadunvalvonnan selkeissä laiminlyönneissä
- Standardoidun tuotteenvaihtoprosessin määrittäminen

VRK –tapahtuman jälkeen toimenpiteitä eteenpäin vievät henkilöt tapaavat säännöllisesti ja päivittävät toimintasuunnitelmaan projektin etenemistä. Tarkemman selvityksen jälkeen saattaa toimenpiteiden sisältö muuttua tai ne saatetaan jättää pois kokonaan, esimerkiksi ajallisista tai rahallisista syistä.

Kirjoittajalle jäi mielikuva, että ongelmien syynä on pikarikoneiden huono kunto, jonka juurisyinä ovat ennakoivan kunnossapidon laiminlyönti, sekä vikojen hätäiset korjaukset. Koneen hajotessa vikaa ei korjata kunnolla, vaan käytetään hätäratkaisuja, kuten teippiä ja nippusiteitä. Vikojen korjauksiin ja kunnan ylläpitoon ei ole varattu tarpeeksi resursseja ja tilausten kiireellisten toimitusten takia koneilla ajetaan tuotteita, vaikka ne ovat epäkunnossa. Tämä taas johtaa siihen, että koneiden yleiskunto heikkenee yhä enemmän.

Toisena tekijänä on pikarilinjoiden koneenhoitajien huono motivaatio laatua kohtaan, joka taas johtuu ainakin osittain edellä mainitusta koneiden huonosta kunnosta. Hajoilevat koneet ja samojen ongelmien kanssa kamppailu heikentää motivaatiota työn hyvin tekemiseen. Toisena ongelmana on kuitenkin myös se, että laadun tarkastamisen ja raportoinnin tärkeyttä ei olla sisäistetty ja sitä laiminlyödään tietoisesti. Jotkin vikatyypit, kuten pehmeäpohjaiset ja ruttupohjaiset, on vaikeaa tai lähes mahdotonta havaita tunti-kohtaisissa laatunäytteissä, joten ne olisi korjattavissa vain koneiden kunnan parantamisella.

Kuitenkin jos tarkastellaan tehtaan muotoiluosaston muiden koneiden kuntoa, ei pikarilinjoiden kunto poikkea niistä erityisesti. Muilla koneilla kuin pikarikoneilla on enemmän käsin pakkausta, joka velvoittaa koneenhoitajaa olemaan enemmän läsnä koneella ajon aikana. Tämä johtuu siitä, että pakkaaja valvoo laatua jatkuvasti ja raportoi siitä koneenhoitajalle, joka säätää konetta tarvittaessa. Näillä linjoilla myös koneenhoitajat pakkaavat tuotteita tarvittaessa. Pikarikoneiden automaattipakkaus ei velvoita koneenhoitajien läsnäoloa koneen toimiessa, joten aikaa on helppo viettää esimerkiksi kahvi-huoneessa.

6.5 Analyysin tulosten yhteenveto

Taulukossa 11 näkyy yhteenveto analyysista ja tässä vaiheessa tehtyjä päätöksiä esitettyjen asioiden suhteen.

Taulukko 11. Yhteenveto luvun 6 analyysissä esitetyistä asioista, sekä niiden pohjalta tehdyistä päätöksistä

| Analyysin kohde | Tulos | Päätös |
|------------------------|--|--|
| Tiedonkeruun kehitys | Hukka lasketaan annetuista tiedoista tiedonkeruuohjelman avulla. Hukan jaottelun tulisi perustua sen aiheuttajaan. | Tiedonkeruuseen päätettiin tehdä muutoksia ehdotusten mukaisesti. Toteutus esitellään seuraavassa luvussa. |
| Laadun tiedonjako | Tiedonkeräyksen ja –jaon tulisi olla mahdollisimman automaattista ja mahdollisuuksien mukaan sähköistä. | Ensimmäiseksi laatuhavainnot tulisi kerätä erillisten tiedostojen sijaan taulukkoon. Hukan jaottelun muutoksen pohjalta voidaan kehittää sähköinen mittari. |
| Vialliset puolivalmiit | Vikatyypit ovat tiettyjen tuotemallien ongelmia. Vikatyypit voidaan jakaa satunnaisesti ja jatkuvasti ilmeneviin | Satunnaisia vikoja pyritään kontrolloimaan varasto-ohjauksen muutoksella. Laadunvalvonnan laiminlyönti täytyy ottaa vakavammin huomioon. |
| Ongelman juurisyys | Koneiden huono kunto, sekä siitä johtuva työmotivaation puute ovat iso tekijä pikareiden laadussa | Kunnossapidon ohjeistusta tarkennetaan ja toimintaan ehdotetaan muutosta. Näillä näkymin linjoihin ei ole aikataulutettu suurempia huoltoja tai investointeja. |

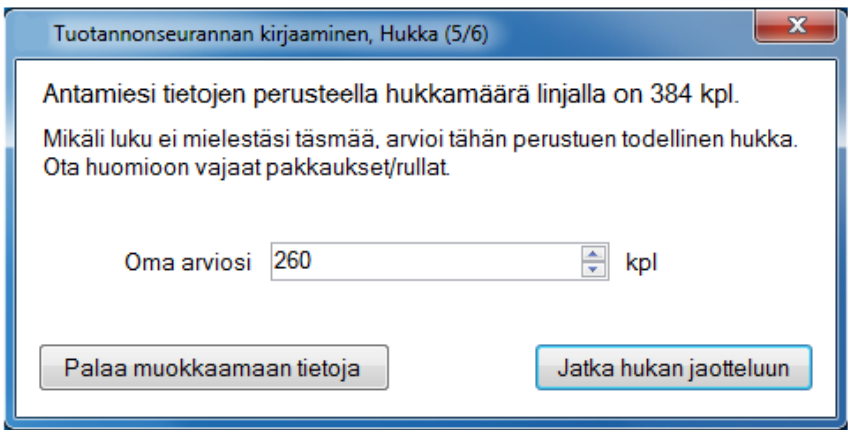
7. TOIMINNAN KEHITTÄMINEN (IMPROVE)

Analyysin pohjalta toiminnan kehittämiseksi suunnitellaan erilaisia parantavia toimenpiteitä ja toimintatapamuutoksia. Tässä luvussa kerrotaan syntyneiden muutosehdotusten toteutumisesta, siltä osin, kun niitä tämän työn aikana toteutettiin. Luvussa esitetään myös kehitysehdotuksia, joita ei tämän työn puitteissa ehditä tai ole mahdollista toteuttaa.

7.1 Tiedonkeruun parannus ja sähköinen visuaalinen mittari

Sähköistä tiedonkeruuta päädyttiin muuttamaan hukan raportoinnin osalta. Linjojen hukan tiedonkeruun parantamiseksi pohdittiin eri vaihtoehtoja. Piti ottaa huomioon, kuinka tiedonkeruun muuttaminen vaikuttaa työskentelyyn tuotannossa ja ovatko muutokset mahdollisia käytännön työn kannalta. Hukan lajittelun kategorioita oli useita ja niistä pyrittiin valitsemaan tärkeimmät. Muutoksen jälkeen ohjelma laskee annetuista tiedoista käyttäjälle kokonaishukan määrän, jota käyttäjä voi muokata tarvittaessa (kuva 27a).

a



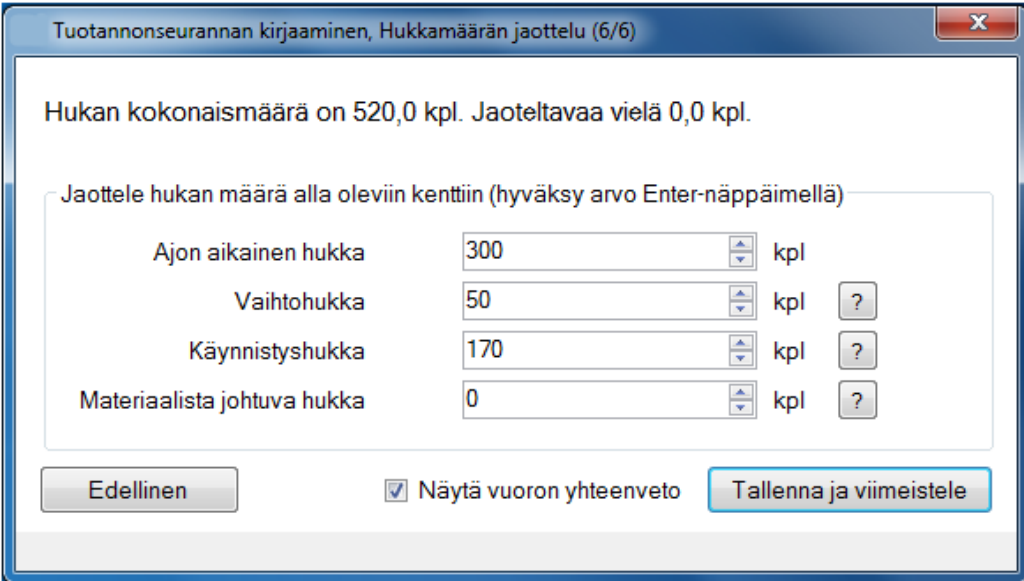
Tuotannonseurannan kirjaaminen, Hukka (5/6)

Antamiesi tietojen perusteella hukkamäärä linjalla on 384 kpl.
Mikäli luku ei mielestäsi täsmää, arvioi tähän perustuen todellinen hukka.
Ota huomioon vajaat pakkaukset/rullat.

Oma arviosi 260 kpl

Palaa muokkaamaan tietoja Jatka hukan jaotteluun

b



Tuotannonseurannan kirjaaminen, Hukkamäärän jaottelu (6/6)

Hukan kokonaismäärä on 520,0 kpl. Jaoteltavaa vielä 0,0 kpl.

Jaottele hukan määrä alla oleviin kenttiin (hyväksy arvo Enter-näppäimellä)

| | | | |
|-----------------------------|-----|-----|---|
| Ajon aikainen hukka | 300 | kpl | |
| Vaihtohukka | 50 | kpl | ? |
| Käynnistyshukka | 170 | kpl | ? |
| Materiaalista johtuva hukka | 0 | kpl | ? |

Edellinen ☒ Näytä vuoron yhteenveto Tallenna ja viimeistele

Kuva 27. Uusi tiedonkeruu hukan arvioinnin ja jaottelun kohdalta

Kokonaishukka jaotellaan neljään osaan aiheutumisen perusteella (kuva 27b). Ajon aikaiseen, vaihdosta aiheutuneeseen, pysähdyksistä aiheutuneeseen ja materiaalista johtuneeseen hukkaan. Hukan jaottelun avulla saadaan tietoa mahdollisista ongelmakohtista. Aikaisemmin uskottiin hukan jaottelun olevan mahdollista kolmella eri kategorialla. Lopulta kuitenkin päädyttiin neljään kategoriaan, sillä kaikki neljä olivat ongelmanratkaisun kannalta tärkeitä. Laskennan uskotaan onnistuvan käytännössä ja useimmiten kaikki neljä kategoriaa eivät esiinny saman vuoron aikana. Laskennallisten muutosten lisäksi tiedonkeruun yhteenvetosivulle lisättiin hymynaama kuvaamaan vuoron onnistumista tavoitteissa. Kuvassa 28 näkyy uusi vuoron yhteenveto.

Kuva 28. Vuoron yhteenveto ja uusi hymynaama

Alkuperäinen yhteenveto oli lähes samanlainen, mutta ilman hymynaamaa. Hymynaama oli muutoksen toteuttaneen henkilön lisä uuteen tiedonkeruuseen. Uusi tiedonkeruu otettiin käyttöön tammikuussa 2017. Osa työntekijöistä koki hukan jaottelun hankalaksi. Osan mielestä jaottelu aiheuttajan mukaan ei ole vaikeampaa kuin aikaisempi loppusijoitukseen perustuva jaottelu. Koneen laskema hukan arvio koettiin hyödylliseksi.

Tiedonkeruun hukan jaottelu mahdollistaa sisäisen laadun tarkemman seuraamisen. Pikaerälinjoille tehdään pilotti sähköisestä toimintamittarista, joka päivittyy automaattisesti tiedonkeruuseen syötetyistä tiedoista. Sähköisen mittarin olisi tarkoitus korvata vanhoja käsin täytettäviä mittareita tuotannon linjakohtaisilla ja ryhmäkohtaisilla visuaalisen ohjauksen tauluilla. Ensimmäisessä vaiheessa mittarilla kuvataan hukan aiheuttajien jakautumista kokonaishukassa, sekä valmistuneita kappaleita. Myös linjojen seisakeille tehdään pilotti sähköisestä seurannasta. Myöhemmin voidaan lisätä mitattavia kohteita ja ottaa mittarit käyttöön muillakin koneryhmillä.

7.2 Laatuhavaintojen raportoinnin parannus

Vuoden 2017 alusta lähtien, linjojen laatuhavainnot kerätään Excel-taulukkoon. Linjoilla täytetään yhä paperisia laatukortteja, mutta laatuvaastava siirtää oleelliset havainnot helpommin käsiteltävään muotoon. Kirjoittaja suunnitteli yhdessä laatuvaastavan kanssa taulukkoon sopivat sarakkeet. Taulukosta tehtiin yksinkertaisempi, kun tämän työn mitausvaiheessa koottu taulukko. Excel-taulukosta havainnot voidaan kopioida erilliseen raporttiin, jos sellaista halutaan vielä ylläpitää.

Laatuhavaintojen tilastoinnissa oli epäloogisuus, jossa sisäiset laatuhavainnot kirjattiin myös havainnon tehneelle linjalle omana laatuhavaintona. Tämä epäloogisuus poiste-

taan, eli tämä ylimääräinen oma havainto jätetään pois, jolloin tilastot havaintotyypeistä ovat todenmukaisempia. Laaturaporttia ei tällä hetkellä tulosteta pöydälle nähtäväksi, mutta se on kaikkien nähtävissä tuotannon tietokoneilla. Tulevaisuudessa taukuhuoneeseen on tulossa sähköinen näyttö, josta päivän laaturaportti on vaivattomasti katsottavissa.

7.3 Tuotannon toimintatapojen kehitysehdotukset

Tuotannosta ja laadusta vastaavien henkilöiden kanssa keskusteltiin palavereissa mahdollisista toimenpiteistä huonon laadun pysäyttämiseen ja laadun parantamiseen. Tässä luvussa esitelty toimenpiteet kävivät ilmi näissä keskusteluissa. VRK-tiimin toimintasuunnitelmaan nousseiden toimenpiteiden toteutus jäävät tämän työn ulkopuolelle. Puolivalmisvaraston ohjausta käsiteltiin molemmissa, palavereissa sekä VRK:ssa.

7.3.1 Tuntikohtaisten näytteiden kerääminen

Pikarilinjoiden omien laatuhavaintojen vähyys ja sisäisten havaintojen paljouden takia, oli syytä epäillä määritettyjen laadunvalvontatoimenpiteiden laiminlyöntiä. Tuotannosta ja laadusta vastaavien henkilöiden kanssa päädyimme lisäämään säilytettävien näytteiden määrää. Näin varmistuttaisiin siitä, että laadunvalvontaa todella tehdään ja, että havaitut viat olisi helpompi jäljittää. Tällä toimenpiteellä saataisiin pysäytettyä ainakin jatkuvat viat. Myös satunnaisten vikojen kiinnijäämisen todennäköisyys kasvaisi. Muutoksen toteuttamisesta ei aiheutuisi lisäkustannuksia, eikä varsinaista lisätyötä.

Uutena toimintatapana jokainen vuoro kerää pöydälle tunneittaan ottamansa näytteet ja kirjaa niihin kellonajat. Vuoron päätyttyä viimeinen näytepinno siirretään näytekaappiin ja muut hävitetään. Näin jokaisesta vuorosta jää näyte laatuhenkilölle, pelkän aamuvuoron sijaan. Jos vuoron aikana havaitaan laadussa poikkeama, voidaan pöydällä olevia näytteitä tutkia ja selvittää poikkeaman laajuus. Edellisen vuoron näytepinno voidaan tarkistaa näytekaapista. Lisätyötä ei aiheudu, koska näytteiden tunneittain tarkastaminen oli jo ennestään toimintatapana ja muutoksena on näytteiden säilyttäminen pöydällä. Lisätyötä aiheutuu laatuvalvonnalle, jolla on muutoksen jälkeen enemmän näytteitä tutkittavana. Näytteitä varten teipattiin ruudukko laaduntarkastuspöytä, mikä näkyy kuvassa 29.



Kuva 29. Tuntikohtaisten näytteiden säilytystä varten tehty ruudukko pikarilinja näytepöydällä

Jokaisen tunnin näytteille on selkeät paikat, joten voidaan visuaalisesti seurata, onko tarvittavat näytteet otettu. Muutoksen toivotaan lisäävän omia laatuhavaintoja pikarikoneilla ja vähentävän laadunvalvonnan laiminlyöntiä. Toimintatapamuutos otettiin käyttöön marraskuussa 2016.

7.3.2 Kommentointi puolivalmiiden laatikkoon

Jokainen automaattivaraston laatikko on kirjattu järjestelmään. Tiedoista näkyy laatikon sisältämä tuote, valmistusaika ja valmistanut kone. Laatikon tietoihin voitaisiin lisätä kommentti puolivalmiiden poikkeavasta laadusta. Esimerkiksi “sisältää mahdollisesti pehmeäpohjaisia”. Kommenttia lisätiedoissa voitaisiin käyttää, jos laatuviika huomataan pikarikoneilla, mutta sitä ei pidetä niin haitallisena, että se vaatisi takaisinvedon varastosta. Kommentin avulla dekorointiosaston tuotekäsittelijä osaisi olla erityisen tarkkaavainen laatikkoa purkaessa.

Tietojen lisääminen laatikkoon ei kuitenkaan korjaa itse ongelmaa, vaan helpottaa työkentelyä, jos viallisia tuotteita pääsee varastoon. Tätä kehitysehdotusta harkittiin, mutta sen toteuttamista pidettiin liian työläänä verrattaessa sen tuomaan hyötyyn.

7.3.3 Viallisten tuotteiden poisto varastosta

Tuotteet siirtyvät suoraan linjalta automaattisesti varastoon. Viallisten tuotteiden poistaminen varastosta on mahdollista, mutta sitä tehdään erittäin vähän. Tämä johtuu siitä,

että poistamiselle ei ole määritetty selkeitä toimintatapoja ja poistaminen saatetaan kokea hankalaksi. Poistoon tulee laatia selkeät ohjeet ja toimintatavat. Kun laatupoikkeama havaitaan ja kerättyjen näytteiden avulla selvitetään sen laajuus, otetaan tuotteet takaisin varastosta tuotantoajan mukaisesti.

Tuotteiden poistaminen varastosta on aikaa vievää, koska laatikot on ladottava käsin lavalle. Tehtävään on valittava vastuuhenkilö, joka hoitaa poiston tarvittaessa. Vastuun tulisi kohdistua vian aiheuttaneen linjan henkilöstöön, jotta virheiden aiheuttama lisätyö saadaan pois painon työntekijöiltä. Vastuuhenkilö on joko kyseisen koneen koneenhoitaja tai pikarilinjojen ryhmävastaava. Linjan voi myös pysäyttää, jotta koneenhoitaja ehtii poistaa tarkistettavat laatikot. Poisvedolle on myös määritettävä kriteerit, milloin siihen ryhdytään. Päätetään, minkä tyyppiset viat vaativat varastosta poistamisen. Tilanteesta riippuen viallista tuotetta sisältävät laatikot tuhotaan kokonaan vai valikoidaan vialliset tuotteet pois. Viallisten tuotteiden poistamisella vältetään lisätyö painossa.

Tämän työn aikana varastosta poistamisen ohje päivitettiin, mutta toimenpidettä ei muuten viety eteenpäin. Toimenpide on työläs ja aikaa vievä, eikä korjaa itse ongelmaa. Vaikka vastuuhenkilöä ei valittu, eikä poisvetämisen kriteereitä määritelty, voidaan laatikoita kuitenkin poistaa varastosta erikoitapauksissa esimiehen päätöksellä.

7.3.4 Puolivalmisvaraston ohjaus

Joitakin tuotemalleja voidaan valmistaa niin sanotusti *Inline*-ajona. Silloin tietty tuote ajetaan samanaikaisesti pikarikoneella ja painokoneella. Näin palataan ikään kuin vanhaan malliin, jossa koneet olivat peräkkäin ja sisäinen palaute laadusta pystytään antamaan välittömästi. Pikarikoneen tuotantovolyyymi on suurempi kuin painokoneen, joten osa puolivalmiista pikareista menee puolivalmisvarastoon. Näiden varastoon menevien puolivalmiiden laatu olisi todennäköisemmin hyvä, koska niiden kanssa samanaikaisesti valmistetut puolivalmiit pikarit on painokoneilla todettu hyvälaatuisiksi.

Suuremmalla varastonohjauksella saataisiin varsinkin satunnaisia vikatyyppejä, kuten ruttupohjia ja pehmeäpohjia vähennettyä. Niiden havaitseminen pikarikoneilla on epätodennäköistä, koska ne ilmenevät satunnaisesti ja eri kohdissa pikaripinoa. Näin ollen niitä ei huomata tuntikohtaisessa näytteenotossa. Kun pikarikoneen koneenhoitaja saa tiedon näistä vikatyypeistä painokoneen henkilökunnalta, voi hän tehdä koneeseen tarvittavia säätöjä.

Tammikuussa 2017 kahden pikarien tuotemallin varasto-ohjausta muutettiin. Tuotemalleista valittiin suurivolyymisimmat ja näin ollen eniten hukkaa aiheuttavat pikarit (300PS ja 220PS). Vaikeasti havaittavia pehmeäpohjia ilmenee eniten tuotemallilla 220PS. Tavoitteena on parantaa dekorointiosaston linjojen toimintaa ja vähentää hävikkiä. VRK -tiimin keskustelun pohjalta päätettiin muuttaa myös tuotemallin 315PS varasto-ohjausta, koska sillä yleiset ruttupohjat on vaikea havaita pikarikoneilla ja aiheut-

tavat paljon ongelmia painokoneella. Jos uusi toimintatapa todetaan toimivaksi ja kannattavaksi, voidaan muidenkin tuotteiden varasto-ohjausta muuttaa. Haittapuolena on tuotannon suunnittelemisen joustavuuden väheneminen, kun tuotetta pitää ajaa molemmilla koneilla saman aikaisesti.

7.4 Toiminnan kehittämisen yhteenveto

Taulukkoon 12 on koottu toiminnan kehittämisen ehdotukset, joita lähdettiin viemään eteenpäin. Taulukosta on jätetty pois “kommentointipuolivalmiiden laatikkoon” ja “vi-
allisten tuotteiden poisto varastosta”, koska näitä ehdotuksia ei suunniteltu toteutetta-
vaksi käytännössä.

Taulukko 12. *Yhteenveto toiminnan kehitysehdotuksista ja niiden toteutuksesta*

| Ehdotus | Toteutustapa | Toteutuminen käytännössä |
|---|--|--|
| Tiedonkeruu | Uudessa tiedonkeruussa oh- jelma laskee ehdotetun ko- konaishukan annetuista tie- doista. Hukka jaotellaan ai- heuttajan perusteella neljään eri kategoriaan. | Muutos tehtiin tammikuussa 2017. Työntekijöiltä saatiin posi- tiivista ja negatiivista palautetta. Muutoksen myötä nähdään, kuin- ka paljon huonoja puolivalmiita pikareita painokoneelle päätyy. |
| Sähköinen visuaali- nen mittari | Hukan jaottelun toteutumi- sen jälkeen aletaan suunnit- tella tuotannossa käytettävää visuaalista mittaria hukasta. | Kehitystyö on aloitettu, mutta käytännössä toimivaa mittaria ei vielä ole. |
| Laatuhavaintojen raportointi | Kirjoittaja ja laatuvaastaava kehittivät laatuhavainnoille sopivan taulukon. Epäloogi- suus havaintojen tilastoinnis- ta poistetaan. | Uutta taulukkoa alettiin täyttää vuoden 2017 alusta lähtien. Tau- lukosta suodattamalla näkee no- peasti mikä tahansa linjan tai tuotteen laatuhavainnot. |
| Tuntikohteisten näytteiden keräämi- nen | Pikarilinjoiden laatupöytiin teipattiin ruudukot tuntikoh- taisille näytteille, jotka hävi- tetään vuoron lopussa. | Uusi toimintatapa otettiin käyt- töön marraskuussa 2016. Ruudu- kosta voidaan visuaalisesti nähdä, onko valvontaa noudatettu. |
| Puolivalmisvaraston ohjaus | Suurivolyymisten tuotteiden varasto-ohjaus muutetaan <i>Inline</i> -tyyppiseksi. | Muutos toteutettiin tammikuussa 2017. Sen avulla palaute laadusta saadaan annettua heti ja satunnai- set vikatyypit huomataan. |

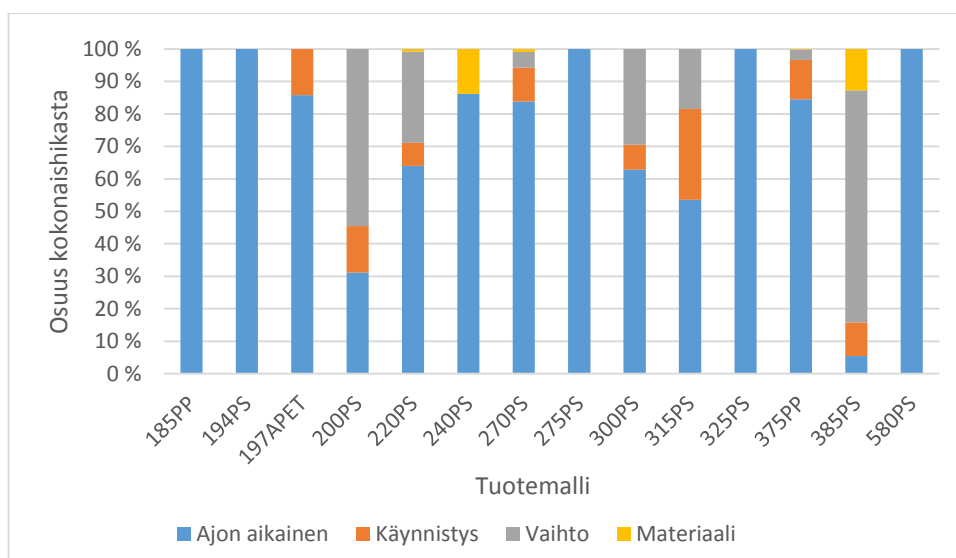
8. TULOKSET JA YLLÄPITO (CONTROL)

Konkreettiset muutokset saatiin aikaan laatuhavaintojen raportoinnissa ja uusi toimintatapa pikarilinjien näytteiden keräyksessä. Näytteisen keräyksen tuloksista kerrotaan tarkemmin luvussa 8.2. Laatuhavaintojen raportoinnin muutos on ollut toimiva ja se helpottaa laatuun kohdistuvia tutkimuksia huomattavasti tulevaisuudessa. Uutta toimintatapaa on helppo ylläpitää ja sen uskotaan pysyvän suunnitellun kaltaisena. Suurin muutos tapahtui sähköisessä tiedonkeruussa, hukan laskennassa ja jaottelussa. Tämä muutos vaikuttaa useisiin osa-alueisiin, kuten esimerkiksi sähköisten visuaalisten mittareiden kehittämiseen (luku 8.1) ja VRK:n korjaavien toimenpiteiden vaikutuksen seuraamiseen. Hukan jaottelu on toiminut käytännössä hyvin ja työntekijöiltä on saatu myös positiivista palautetta.

Suunniteltuja muutoksia päästiin toteuttamaan vasta työn loppuvaiheessa, joten kaikkia niiden aikaansaamia tuloksia ei päästä näkemään työn aikana. VRK:n onnistumista puolivalmiiden pikarien laadun osalta voidaan myöhemmin mitata dekorointiosaston häiriökoodin ”linjan pysäyttävä laatuviika” minuuttien vähentymisellä. Hukan jaottelun ansiosta voidaan seurata hukkaa toisen linjan aiheuttaman laatuviian osalta. Myös pikarilinjien ja dekorointiosaston kokonaishukan tulisi vähentyä. Tämän työn jälkeen VRK-tiimi pitää palaveria ja seuraa tiimin jäsenten eteenpäin viemiä muutostoimenpiteitä.

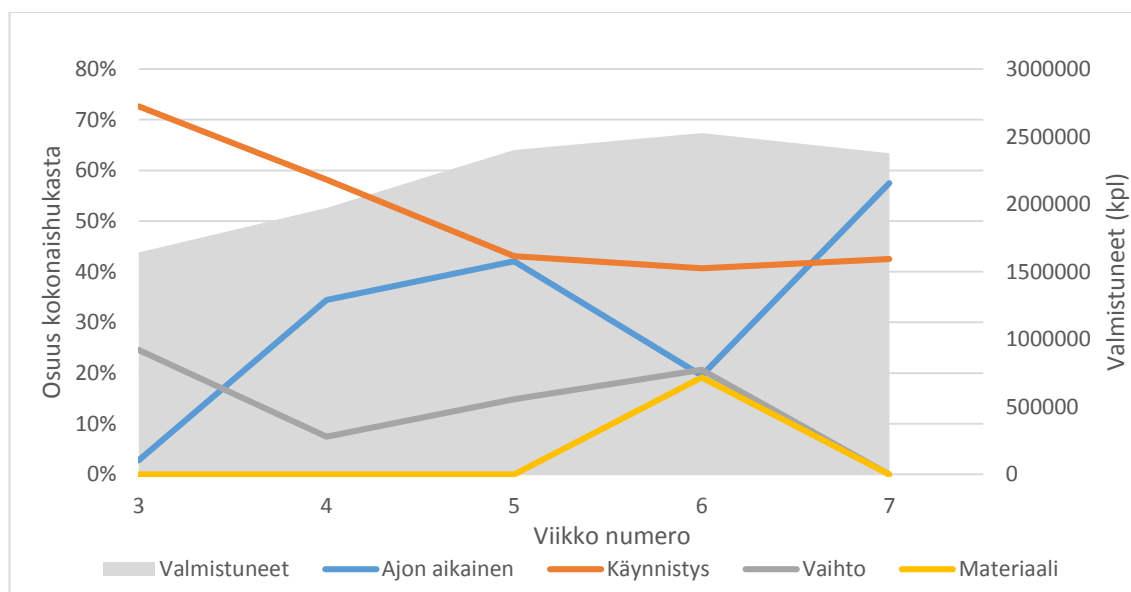
8.1 Sähköiset visuaaliset mittarit

Tiedonkeruun muutosten avulla saadaan tietoa hukan aiheuttajasta, joten tulevaisuuden kehitysprojekteja saadaan helpommin kohdennettua oikeille osa-alueille. Datasta saadaan koostettua erilaisia kuvaajia joko tapauskohtaisesti projekteja varten, tai aktiivisia visuaalisia mittareita tuotannon seurantaan. Kuvassa 30 on esimerkki hukan jaottelusta dekorointiosastolla tuotemalleittain.



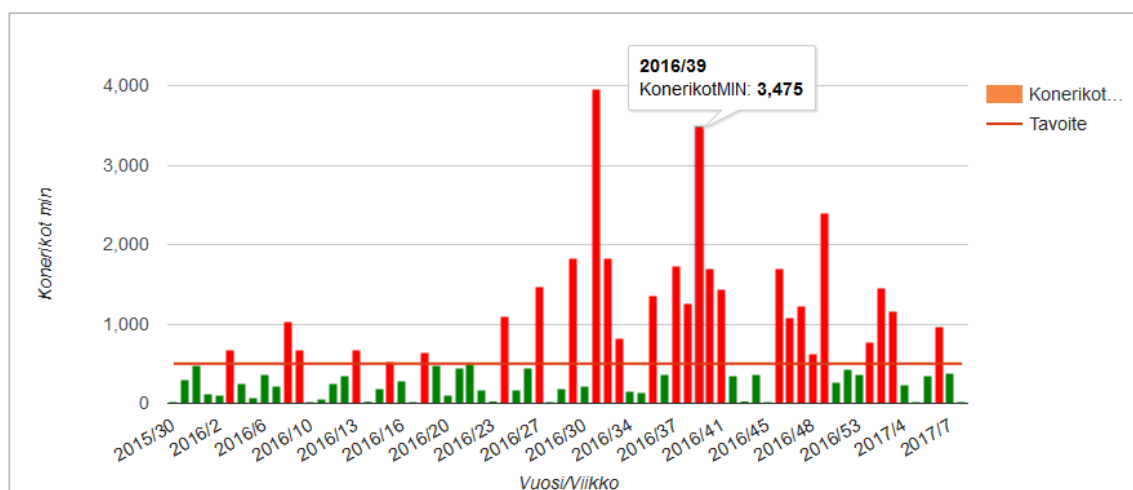
Kuva 30. Esimerkki dekorointiosaston tuotemallien hukan jaottelusta

Tällainen jaottelu on mahdollista toteuttaa kaikille linjaryhmille ja tarkastella hukka esimerkiksi vuorokohtaisesti. Hukka on tässä kuvaajassa jaoteltu prosenttiosuuksiin aiheutuneesta kokonaishukasta Toisena esimerkkinä hukan jaottelu viikkokohtaisesti ja kullakin viikolla valmistuneet kappaleet (kuva 31).



Kuva 31. Esimerkki mittarista, jossa viikkokohtainen hukan jaottelu ja valmistuneet kappaleet

Kuvien 30 ja 31 mukaisia mittareita ei tämän työn puitteissa ehditty toteuttamaan sähköiseen visuaaliseen mittariin, vaan esimerkit on rakennettu kirjoittain toimesta Excel- taulukkoon. Linjan seisakkien, eli konerikkojen seurantaan saatiin rakennettua sähköinen mittari, mutta se ei ole vielä linjalla näkyvissä. Seisakkien viikoittaisessa mittarissa (kuva 32) näkyy sallittu raja konerikkojen kestolle minuuteissa. Jos minuutteja kertyy yli sallitun, muuttuu pylväs punaiseksi. Sallitun rajan alapuolella se pysyy vihreänä.



Kuva 32. *Pilotti linjan seisakkien viikoittaisesta seurannasta*

Sähköisten visuaalisten mittarien kehittämisprojektia jatketaan tämän työn jälkeen ja lopullisena tavoitteena on saada ne käyttöön kaikilla linjaryhmillä. Pilottimittarien toimivuuden perusteella päätetään, hankitaanko mittareita varten erillisiä näyttöjä ja millä linjoilla ne otetaan käyttöön seuraavaksi.

8.2 Laadunvalvonnan kehitys pikarilinoilla

Pikarilinjoiden sisäisten laatuhavaintojen ei nähty lisääntyvän, vaikka tuntikohtaiset näytteet kerättiin pöydälle. Välillä voitiin huomata, että tuntikohtaisten näytteiden keräämistä pöydälle ei oltu noudatettu. VRK –tiimiin kuuluvan koneenhoitajan kanssa keskusteluissa kävi ilmi, miksi pikarilinjoiden omia laatuhavaintoja tehdään niin vähän. Osa koneenhoitajista ei merkitse havaitsemiaan laatupoikkeamia laatukorttiin, jos poikkeama ilmennyt toistuvasti kyseisellä tuotemallilla. Voidaan myös olettaa, että muidenkin havaintojen merkitseminen on harvinaista. Esimerkiksi tuotemallilla 205PS on koneenhoitajan mukaan jatkuvia ongelmia, jokaisessa ajossa. Laatuhavaintoja ei tehdä, koska ongelman oletetaan olevan kaikkien tiedossa. Kyseinen tuotemalli on pikarilinjalla käsin pakattava ja sitä ei jatko käsitellä dekorointiosastolla. Tämän takia tuotemallista ei ole yhtäkään laatuhavaintoa, joten laatuopäällikkö ei ollut näistä laatuongelmista lainkaan tietoinen. Asiakkaan tekemiä reklamaatioita on tullut ja linjalla tehtyjen laatuopäällikköjen puutetta on ihmetelty laatuosastolla.

Tämän esimerkin nojalla voidaan olettaa, että laadunvalvonnan lisäksi myös laatuhavaintojen kirjaamista laiminlyödään pikarikoneilla. Linjalla tapahtuvan laadunvalvonnan parantamiseksi pikarikoneiden aluevastaava käy työntekijöiden kanssa läpi laadunvalvonnan ohjeistuksen. Tulevaisuudessa vakavia laadunvalvonnan laiminlyöntejä tul- laan käymään läpi yhdessä työntekijän, aluevastaavan ja laatuopäällikön kanssa. Tunti- kohtaista näytteiden keräystä ei ainakaan näillä näkymin oteta käyttöön muilla linjoilla kuin pikarilinoilla. Muilla linjoilla tehdään huomattavasti enemmän omia laatuhavain- toja ja laadunvalvontaa uskotaan noudatettavan ohjeiden mukaisesti.

9. POHDINTA JA PÄÄTTELY

9.1 Tulosten tarkastelu ja tavoitteiden saavuttaminen

Työn alussa asetettiin tavoitteeksi selvittää, miten saadaan sisäisen laadun tiedonkulku paremmaksi ja miten vastuu laadusta saadaan kohdennettua oikealle koneelle. Tällä osa-alueella saatiin aikaan konkreettisin parannus eli sähköisen tiedonkeruun hukan jaottelun muutos. Tutkimuksen alussa selvisi, että ennen kun tietoa voidaan jakaa ja kohdentaa oikealle koneelle, täytyy kehittää itse tiedon keräämistä. Kun tutkimukseen tarvittavaa dataa alettiin koota yhteen, selvisi kuinka puutteellisia ja huonosti saatavilla tiedot olivat. Laatuhavaintojen raportoinnin muutoksella vältetään vastaavanlainen erittäin työläs laaturaportin kokoaminen jatkossa.

Hukan jaottelu uudelleenkäytettäviin ja energiajätteeseen meneviin viallisiin tuotteisiin ei ollut tutkimuksen kannalta hyödyllistä. Puolivalmiiden pikarien ongelmat olivat kaikilla tiedossa, mutta ongelmien laajuus kappalemäärällisesti oli mahdotonta selvittää. Hukan tiedonkeruun muuttaminen tarkemmaksi ja aiheuttajaan perustavaksi tulee helpottamaan ongelmien paikantamista ja laajuuden määrittämistä huomattavasti tulevaisuudessa. Tiedonkulku tulee parantumaan sähköisten visuaalisten mittarien myötä. Aika näyttää, kuinka mittarit toimivat käytännössä. Monet tuotannon työntekijät eivät mielellään työskentele tietokoneiden kanssa, joten sähköisten mittarien käytettävyyttä lisäisi huomattavasti erillinen, pelkästään mittareille tarkoitettu näyttö. Työpisteiden tietokoneilla tarkastellaan vuoron aikana useita eri sivuja, joten mittari voi jäädä helposti käyttämättä.

Toinen tavoite oli selvittää, miten huono laatu saataisiin pysäytettyä jo sen aiheuttaneelle koneelle. Huonojen tuotteiden läpimenon syitä tutkittiin vikatyypin avulla. Vikatyypin tutkinnassa oleellinen ominaisuus oli niiden esiintymistiheys ja todennäköisyys havaittavuudelle tuntikohtaisissa laatuäynteissä. Jakautuminen jatkuviin ja satunnaisiin vikatyyppeihin vaikutti keinoihin, joiden avulla viallisten tuotteiden kulkeutuminen varastoon pyrittiin estämään. Laatuhavainnoista kerätystä datasta tehdystä analyysistä kävi ilmi, että yleisimmin esiintyvät vikatyypit olivat tiettyjen tuotemallien ongelmia. Näiden tuotemallien suuret tuotantovolyymit lisäsivät vikatyypin esiintymistä.

Viallisten tuotteiden juurisyyksi ilmeni koneiden huono kunto ja ennakoivan kunnossapidon laiminlyönti. Näistä huolimatta laatutasoa olisi kuitenkin mahdollista parantaa tuntikohtaisen laadunvalvonnan noudattamisella ja laadun aktiivisella seuraamisella. Varsinkin jatkuvien vikatyypin tulisi käydä ilmi tuntikohtaisissa laatuäynteissä. Koneiden huono kunto vaikuttaa pikarilinjoiden työntekijöiden motivaatioon ja laatuhavaintojen tekemisen tärkeyttä ja merkitystä ei täysin ymmärretä. Varasto-ohjauksen muutos

suurivolyymisilla tuotteilla helpottaa laadun aktiivisempaa valvontaa pikarilinoilla ja auttaa havaitsemaan satunnaiset vikatyypit, sekä näin parantaa sisäisen laadun tasoa.

9.2 Suositukset jatkotoimenpiteiksi

Jatkon kannalta on tärkeää VRK:ssa esiin nousseiden toimenpiteiden huolellinen toteuttaminen aikataulussa ja jo toteutettujen muutosten ylläpidon seuraaminen. Koneiden kunto nousi isoksi tekijäksi huonon laadun aiheuttajana, joten siihen tulisi panostaa erityisesti. Tehtaan kaikille linjoille ollaan toteuttamassa tuottavaa kunnossapitoa (*Total Productive Maintenance*), eli TPM kunnossapitostrategiaa. Sen myötä kone huolletaan kauttaaltaan ja laaditaan jatkuvasti toimiva kunnossapidon suunnitelma. Pikarilinoille ei ole vielä aikataulutettu TPM:n toteutumista, mutta suosituksena olisi priorisoida pikarilinoja TPM kohteiden valinnassa.

Visuaalisen mittarin kehittäminen jatkuu tämän työn jälkeen. Mittarista tulisi rakentaa mahdollisimman toimiva yhdelle linjalle ja keskustella työntekijöiden kanssa sen sopivuudesta myös heidän tarpeisiinsa. Kun mittari on saatu toimimaan yhdellä linjalla tai linjaryhmällä, tulisi se ottaa käyttöön kaikilla linjaryhmillä. Mittarin hiominen loppuun asti on tärkeää, jottei puolivalmista versiota monisteta koko tehtaalle ja se jää toimimattomuutensa takia käyttämättä.

9.3 Tutkimuksen arviointi

DMAIC-menetelmän rakenne sopi tähän työhön hyvin ja sen vaiheet olivat sopiva runko tämän kaltaiselle tutkimukselle. Six Sigma tarjoaa paljon erilaisia tilastollisia menetelmiä, mutta niiden käyttämiseen ei koettu tässä tilanteessa tarvetta, koska ongelmat olivat helposti havaittavissa.

Niin kuin luvun 2.5 *Case*-tutkimuksissa kävi ilmi, tuotannon työntekijöiden osallistuminen kehitystyöhön on erittäin tärkeää. Tässä tutkimuksessa tiimiin saatiin mukaan vain yksi pikarilinojen koneenhoitaja ja yksi painokoneen tuotekäsittelijä. Varsinkin koneenhoitajia olisi pitänyt saada enemmän osallistumaan, mutta se ei ollut resurssien kannalta mahdollista. Nyt tiimissä oli edustettuna vain yhden koneenhoitajan kokemus ja mielipide.

Tässä tutkimuksessa suurimmaksi ongelmaksi nousi koneiden huono kunto. Muissa *Case*-tutkimuksissa ongelmien ratkaisu ei liittynyt tuotantolaitteiston kuntoon vaan niiden juurisyyt oli korjattavissa muilla keinoilla. Laadun ongelmien tutkimuksen kannalta olisi ollut parempi ensin huoltaa kone mahdollisimman hyvin, ja sen jälkeen tutkia, mitä laatuongelmia huollosta huolimatta jäljelle. Työssä esitetyt korjaavat toimenpiteet eivät korjaa itse juurisyytä, vaan auttavat pärjäämään huonokuntoisten koneiden kanssa.

LÄHTEET

- Ashter, S. A. (2014) 'Introduction to Thermoforming', in Thermoforming of Single and Multilayer Laminates. William Andrew Publishing, ss. 1–12.
- Brace, M. (2006) 'Manufacturing waste reduction using Six Sigma methodology', in World Class Applications of Six Sigma. Butterworth and Heinemann, ss. 24–44.
- Brydson, J. A. (1999) 'Properties and Structure of Polystyrene', in Plastics Materials. 7th edn. Elsevier, ss. 433–434.
- Burton, T. T. and Boeder, S. M. (2003) The Lean Extended Enterprise. Boca Raton: J. Ross Publishing, 272 s.
- Carreira, B. (2004) Lean Manufacturing That Works: Powerful Tools for Dramatically Reducing Waste and Maximizing Profits. Saranac Lake, US: Amacom, 303 s.
- de Carvalho, G., da Silva Christo, E. and Alonso Costa, K. (2014) 'Application of Six Sigma Methodology in Improving of the Industrial Production Processes', Applied Mechanics and Materials, 627, ss. 327–331.
- Cox, I., Gaudard, M. A. and Ramsey, P. J. (2009) Visual Six Sigma: Making Data Analysis Lean. Hoboken, US: Wiley and SAS Business Serie, ss. 1–35
- Furman, Jeff. (2015). Project Management Answer Book (2nd Edition) - 7.3 Best Practices for Quality Testing. Management Concepts, Inc., ss. 138–175
- Gijo, E. V., Scaria, J. and Antony, J. (2011) 'Application of six sigma methodology to reduce defects of a grinding process', Quality and Reliability Engineering International, 27(8), ss. 1221–1234.
- Gygi, C., Williams, B. and DeCarlo, N. (2012) Six sigma for dummies. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 411 s.
- Haverila M., Uusi-Rauva E., Kouri I., Miettinen A. (2009) Teollisuustalous. Tampere: Infacts Oy, 510 s.
- Jirasukprasert, P., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V. and Lim, M. K. (2014) 'A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process', International Journal of Lean Six Sigma, 5(1), ss. 2–21.
- Karjalainen, T. and Karjalainen, E. (2002) Six Sigma - Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Lahti: Quality Knowhow Karjalainen Oy, 188 s.

- Kumar, S. and Sosnoski, M. (2009) 'Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs', *International Journal of Productivity and Performance Management*, 58(3), ss. 254–273.
- Mann, D. (2005) *Creating a Lean Culture*. New York: Productivity Press, 211 s.
- Marlin, T. U. (2014) *Product Quality*, AccessScience. Saatavilla: <http://www.accessscience.com/content/757521> (Viitattu: 22.1.2017).
- Massey, L. K. (2003) 'Food and Beverage Packaging', in *Permeability Properties of Plastics and Elastomers - A Guide to Packaging and Barrier Materials*. 2nd edn. William Andrew Publishing/Plastics Design Library, ss. 49–56.
- Modig, N. and Åhlström, P. (2013) *Tätä on Lean*. Halmstad: Rheologica Publishing, 167 s.
- Nicholson, J. W. (2006) 'Special Topics in Polymer Chemistry', in *Chemistry of Polymers*. 3rd edn. Royal Society of Chemistry, ss. 146–160.
- Okes, D. (2009) 'The Core of Problem Solving and Corrective Action', in *Root Cause Analysis*. Milwaukee, US: ASQ Quality Press, ss. 1–11.
- Pande, P. S., Neuman, R. P. and Cavanaugh, R. R. (2014) *Six Sigma Way: How to Maximize the Impact of Your Change and Improvement Efforts*. 2nd edn. McGraw-Hill Education.
- Pious, C. V and Thomas, S. (2016) 'Polymeric Materials Structure, Properties and Applications', in *Printing on Polymers - Fundamentals and Applications*. Elsevier, ss. 21–39.
- Prashar, A. (2014) 'Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality', *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63(1), ss. 103–126.
- de Queiroz Santos, A. C., Moura de Amorim, D. P., Acirole Morais, S. F., Albuquerque Neto, H. C. and Fontgalland, I. L. (2015) 'Sigma Level Verification of a Thermoplastic Industry with the Support of DMAIC Method', 2, ss. 5–10.
- Rauwendaal, C. (2014) *Polymer Extrusion*. 5th edn. Hanser Publishers, 917 s.
- Six Sigma.fi (2016) *Quality Knowhow* Karjalainen Oy. Saatavilla: <http://www.sixsigma.fi/fi/lean/yleinen/toyota-kata/> (Viitattu: 22.12.2016).
- Throne James, L. (2008) 'Machines for Other Applications', in *Understanding Thermoforming*. 2nd edn. Hanser Publishers, ss. 77–84.
- Throne Jim, L. (2011) 'Thermoforming', in *Plastics Design Library*, ss. 333–358.

Wagner, J. R., Mount, E. M. and Giles, H. F. (2014) 'Extrusion Process', in Extrusion. 2nd edn. Oxford: William Andrew Publishing, ss. 3–11.

Womack, J. P. and Jones, D. T. (2003) Lean Thinking. New York: Free Press, 396 s.

Womack, J. P., Jones, D. T. and Roos, D. (1991) Machine That Changed the World. HarperPerennial, 323 s.